L'esperimento CMS e le tecniche di Analisi Dati - MasterClass 2014 -

Luisa Alunni Solestizi [1], Diego Ciangottini [1]

[1] Università degli Studi di Perugia, INFN sezione di Perugia

Indice

1. L'esperimento più grande del mondo
2. Il rivelatore CMS

Indice

1. L'esperimento più grande del mondo
2. Il rivelatore CMS
3. Analisi dei dati

Indice

1. L'esperimento più grande del mondo
2. Il rivelatore CMS
3. Analisi dei dati

Il Large Hadron Collider

- Un tunnel circolare lungo 27 km scavato alla profondità di 100 m;

Il Large Hadron Collider

- Un tunnel circolare lungo 27 km scavato alla profondità di 100 m;
- presso Ginevra, al confine tra Svizzera e Francia;

Il Large Hadron Collider

- Un tunnel circolare lungo 27 km scavato alla profondità di 100 m;
- presso Ginevra, al confine tra Svizzera e Francia;
- è il collisore di adroni più grande e più potente mai costruito;

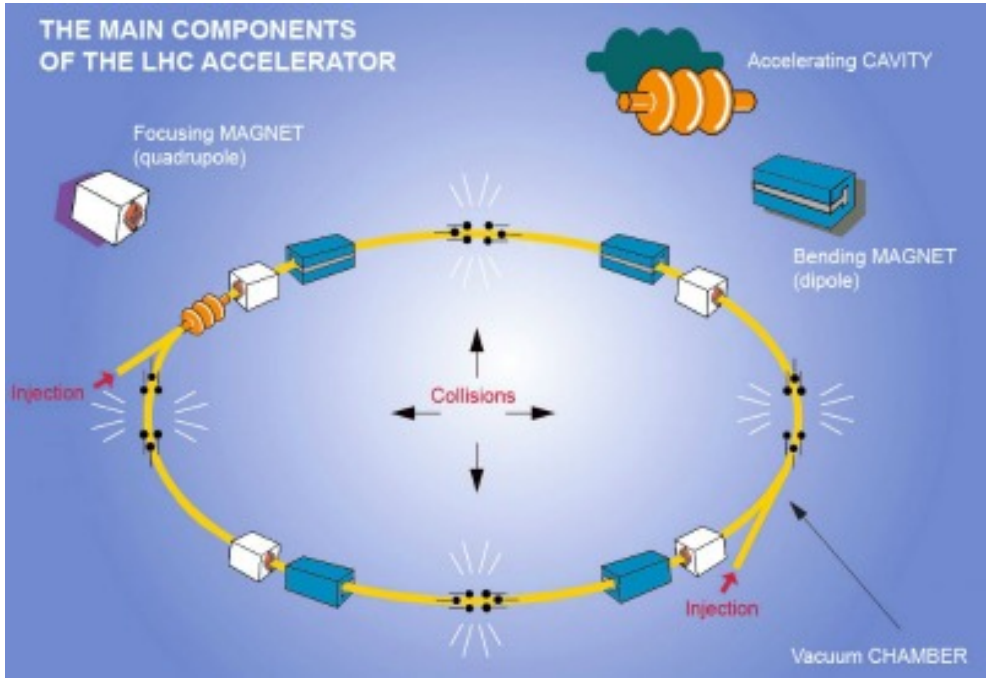
Il Large Hadron Collider

- Un tunnel circolare lungo 27 km scavato alla profondità di 100 m;
- presso Ginevra, al confine tra Svizzera e Francia;
- è il collisore di adroni più grande e più potente mai costruito;
- due fasci di protoni (o ioni pesanti) percorrono l'anello in senso opposto in due cavità distinte.

Il Large Hadron Collider

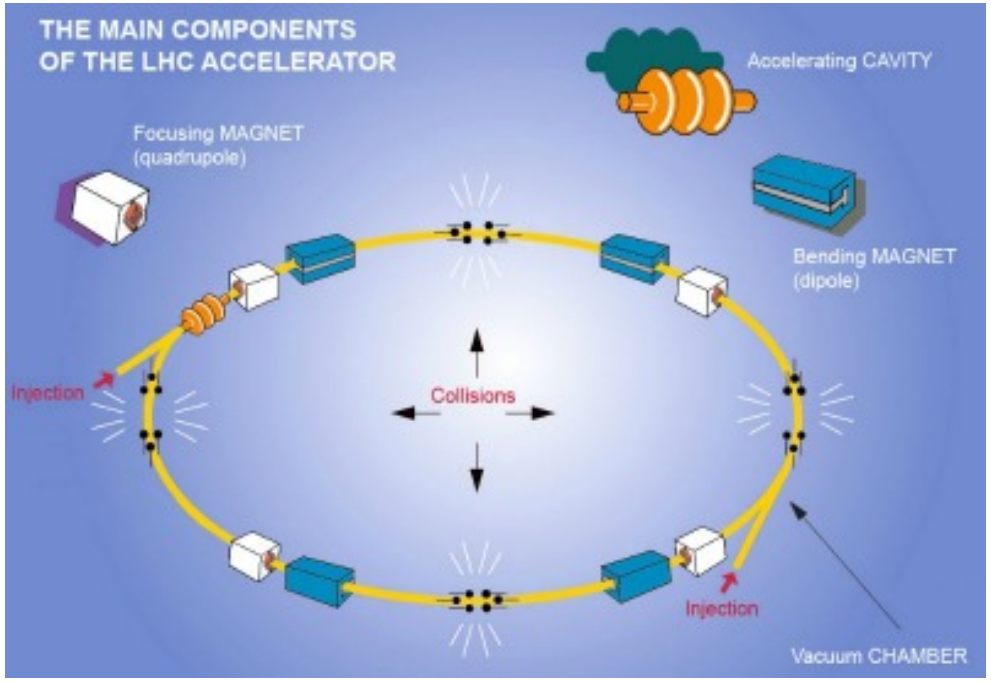
- Un tunnel circolare lungo 27 km scavato alla profondità di 100 m;
- presso Ginevra, al confine tra Svizzera e Francia;
- è il collisore di adroni più grande e più potente mai costruito;
- due fasci di protoni (o ioni pesanti) percorrono l'anello in senso opposto in due cavità distinte.

Il Large Hadron Collider



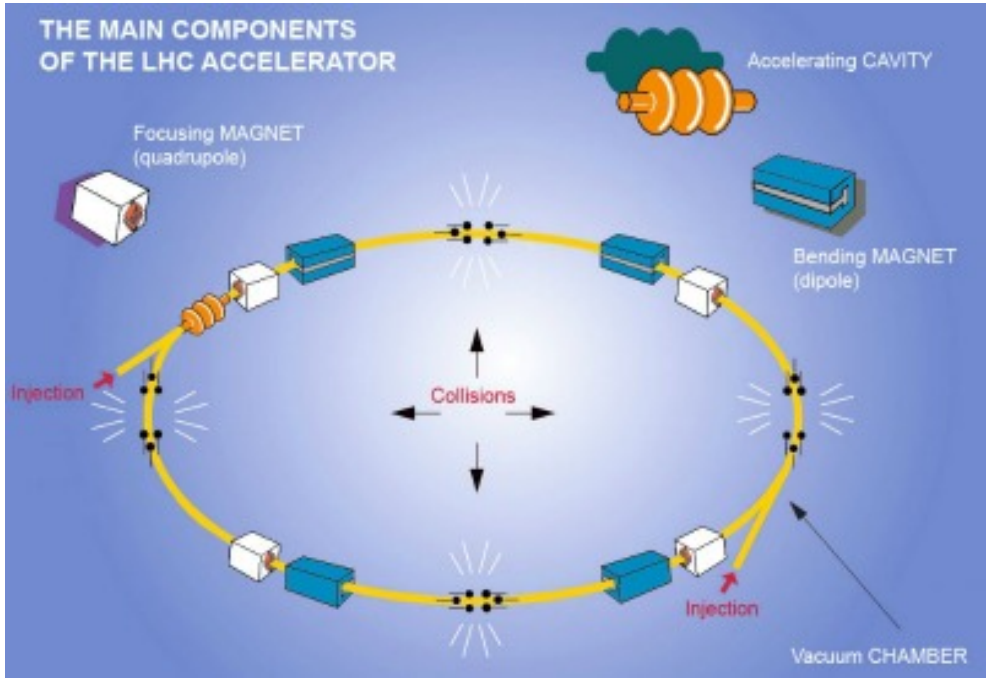
- I protoni, raggruppati in pacchetti, sono continuamente accelerati e curvati da campi elettrici e magnetici;

Il Large Hadron Collider



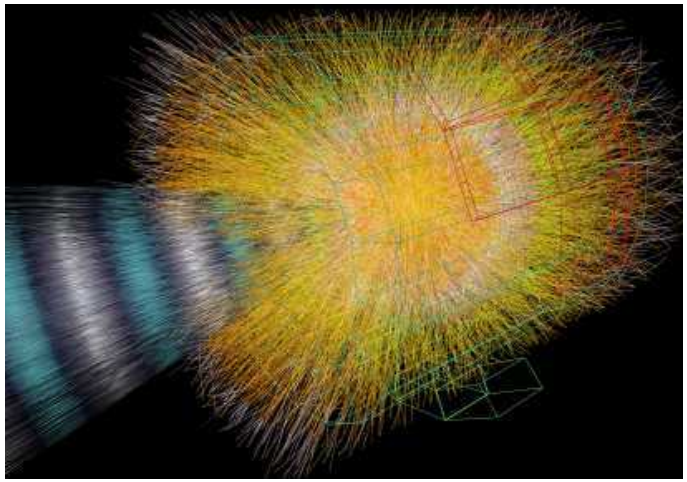
- I protoni, raggruppati in pacchetti, sono continuamente accelerati e curvati da campi elettrici e magnetici;
- altri magneti "strizzano" il fascio per aumentarne l'intensità;

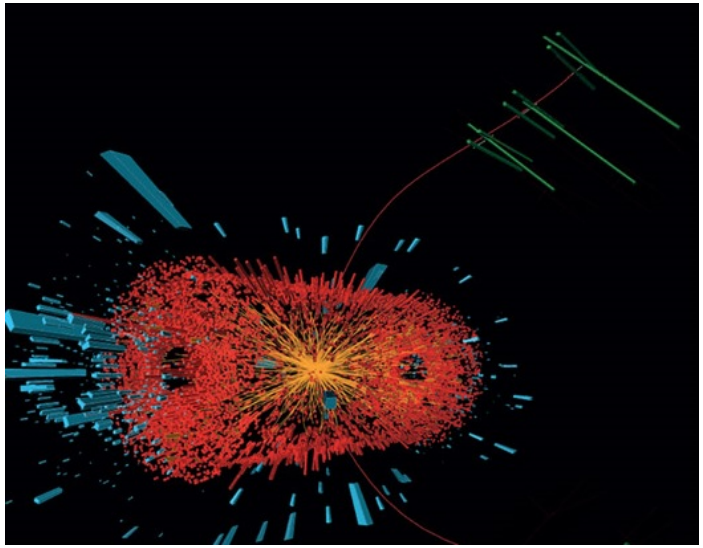
Il Large Hadron Collider



- I protoni, raggruppati in pacchetti, sono continuamente accelerati e curvati da campi elettrici e magnetici;
- altri magneti "strizzano" il fascio per aumentarne l'intensità;

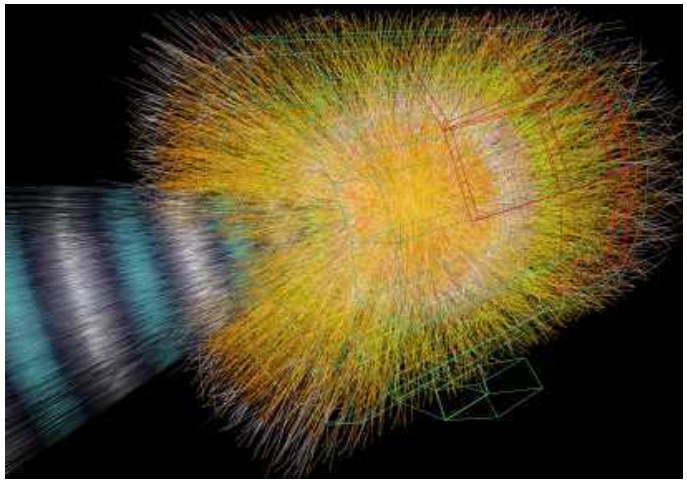
Collisione

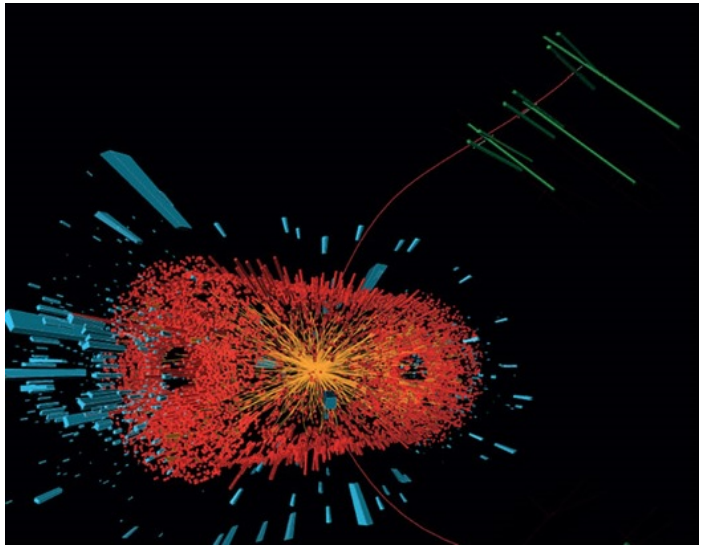




- Raggiunta l'energia voluta, avviene lo scontro;

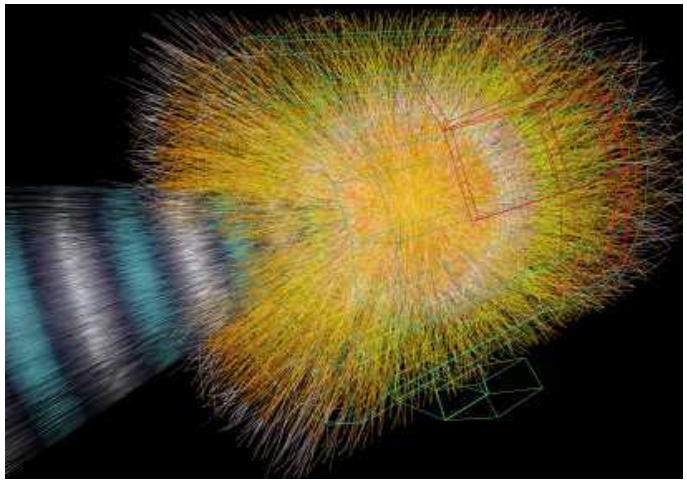
Collisione

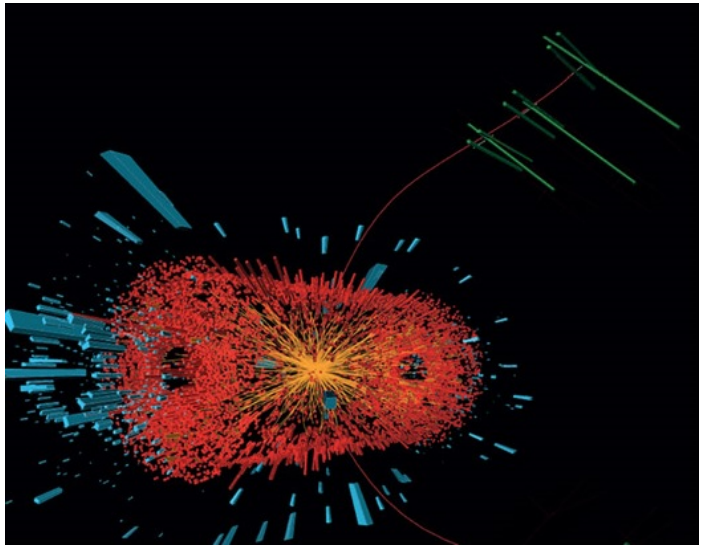




- Raggiunta l'energia voluta, avviene lo scontro;
- un miliardo di collisioni al secondo (solo alcune centinaia sono interessanti);

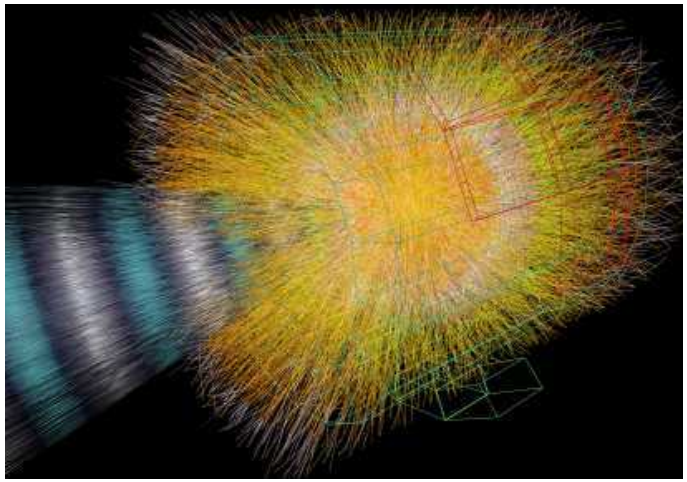
Collisione

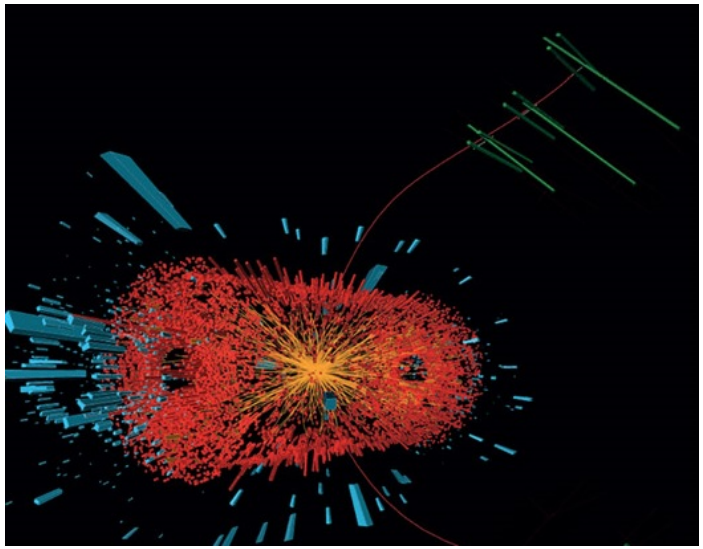




- Raggiunta l'energia voluta, avviene lo scontro;
- un miliardo di collisioni al secondo (solo alcune centinaia sono interessanti);
- si ricreano le condizioni iniziali dell'universo;

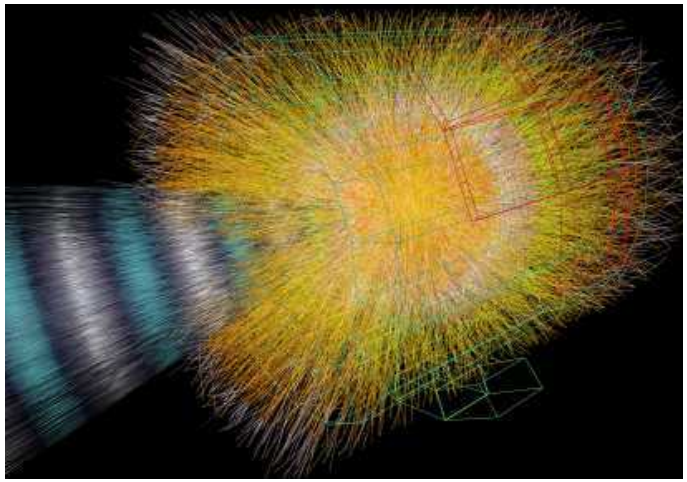
Collisione

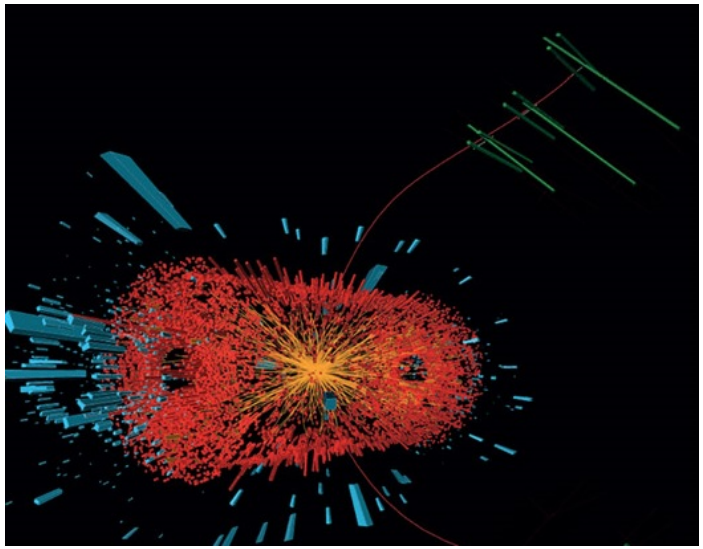




- Raggiunta l'energia voluta, avviene lo scontro;
- un miliardo di collisioni al secondo (solo alcune centinaia sono interessanti);
- si ricreano le condizioni iniziali dell'universo;
- parte dell'energia accumulata è convertita in massa di particelle che in natura non sono più visibili: $E = mc^2$;

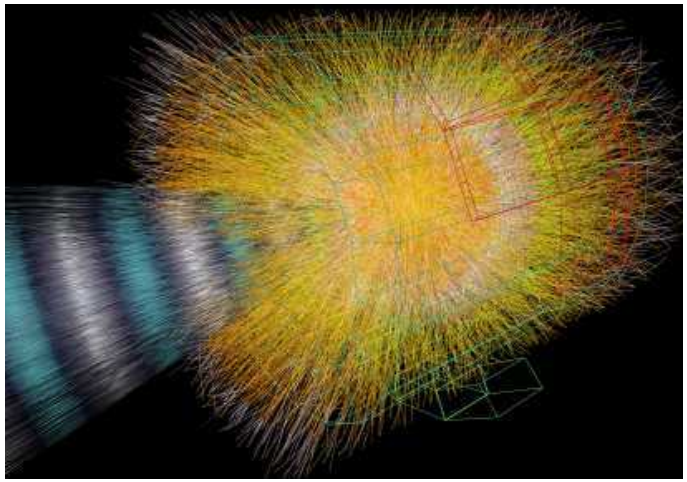
Collisione

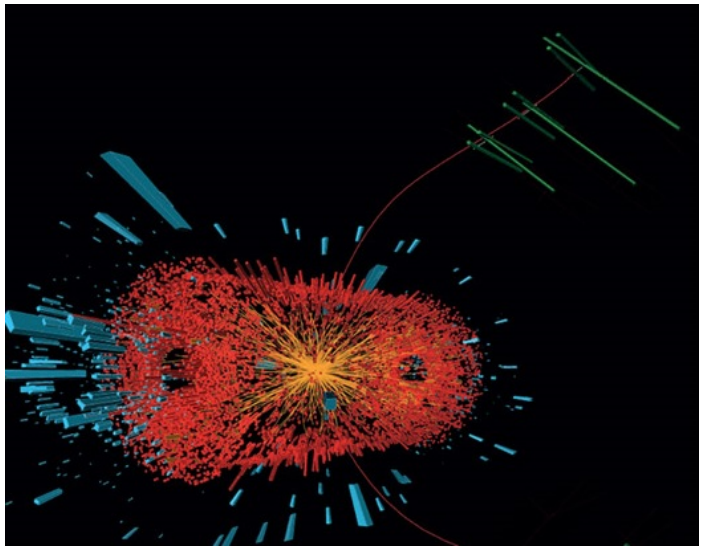




- Raggiunta l'energia voluta, avviene lo scontro;
- un miliardo di collisioni al secondo (solo alcune centinaia sono interessanti);
- si ricreano le condizioni iniziali dell'universo;
- parte dell'energia accumulata è convertita in massa di particelle che in natura non sono più visibili: $E = mc^2$;
- queste decadono in frazioni di secondo e i loro frammenti attraversano i rivelatori.

Collisione





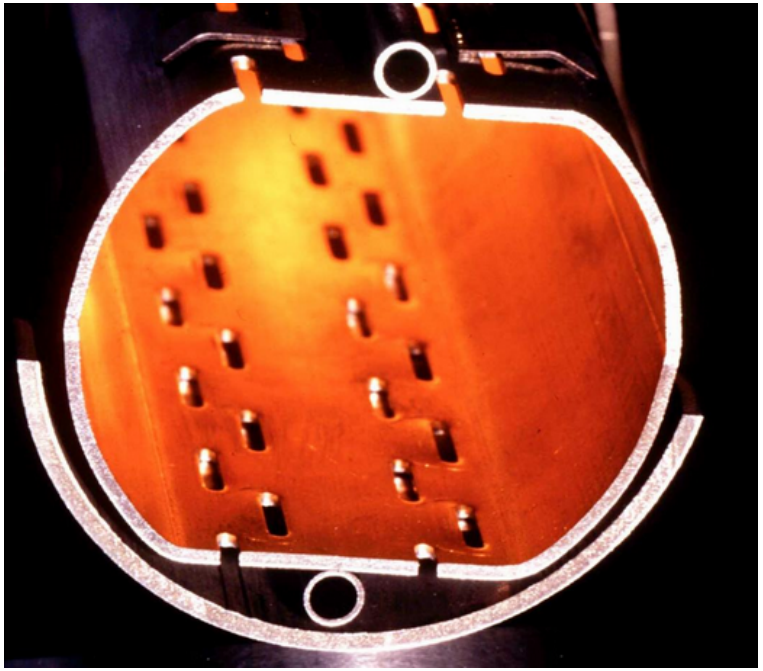
- Raggiunta l'energia voluta, avviene lo scontro;
- un miliardo di collisioni al secondo (solo alcune centinaia sono interessanti);
- si ricreano le condizioni iniziali dell'universo;
- parte dell'energia accumulata è convertita in massa di particelle che in natura non sono più visibili: $E = mc^2$;
- queste decadono in frazioni di secondo e i loro frammenti attraversano i rivelatori.

Condizioni estreme

1. Per evitare che i protoni del fascio collidano con molecole di gas, nelle cavità viene fatto un vuoto tanto vuoto quanto lo spazio interstellare.

Condizioni estreme

1. Per evitare che i protoni del fascio collidano con molecole di gas, nelle cavità viene fatto un vuoto tanto vuoto quanto lo spazio interstellare.
2. I protoni sono guidati lungo l'anello da magneti superconduttori: correnti di migliaia di Ampere circolano in "assenza" di resistenza grazie a una temperatura di $-271.3°C$, minore della temperatura media dell'universo.



Condizioni estreme

1. Per evitare che i protoni del fascio collidano con molecole di gas, nelle cavità viene fatto un vuoto tanto vuoto quanto lo spazio interstellare.
2. I protoni sono guidati lungo l'anello da magneti superconduttori: correnti di migliaia di Ampere circolano in "assenza" di resistenza grazie a una temperatura di $-271.3^{\circ}C$, minore della temperatura media dell'universo.

Condizioni estreme

1. Per evitare che i protoni del fascio collidano con molecole di gas, nelle cavità viene fatto un vuoto tanto vuoto quanto lo spazio interstellare.
2. I protoni sono guidati lungo l'anello da magneti superconduttori: correnti di migliaia di Ampere circolano in "assenza" di resistenza grazie a una temperatura di $-271.3^{\circ}C$, minore della temperatura media dell'universo.

Punti di colisione

- L'intersezione dei fasci avviene in 4 punti della circonferenza;
- 4 enormi rivelatori, ospitati in ampie caverne, sono pronti a raccogliere i prodotti dell'interazione;

Punti di colisione

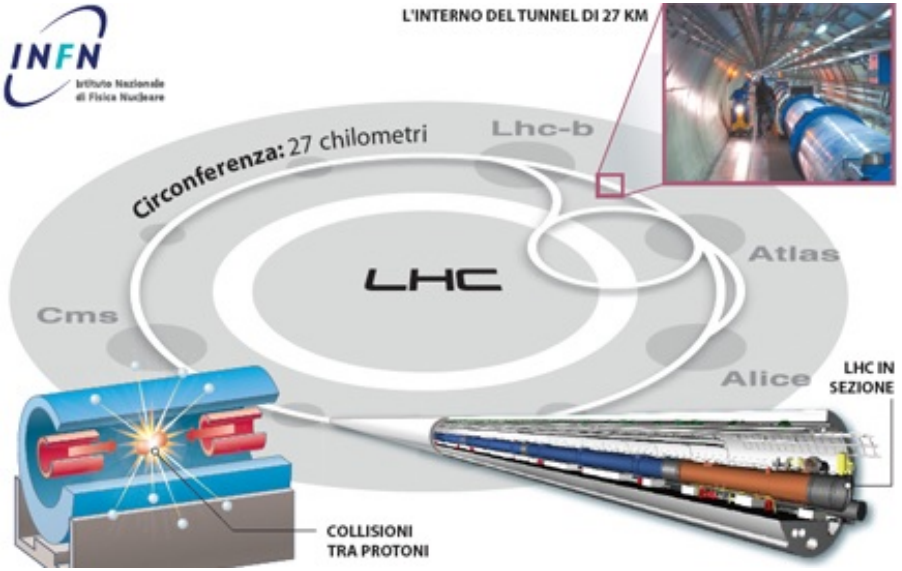
- L'intersezione dei fasci avviene in 4 punti della circonferenza;
- 4 enormi rivelatori, ospitati in ampie caverne, sono pronti a raccogliere i prodotti dell'interazione;
- una rete di computer filtra, processa, immagazzina milioni di GB di dati ogni anno;

Punti di colisione

- L'intersezione dei fasci avviene in 4 punti della circonferenza;
- 4 enormi rivelatori, ospitati in ampie caverne, sono pronti a raccogliere i prodotti dell'interazione;
- una rete di computer filtra, processa, immagazzina milioni di GB di dati ogni anno;
- fisici di tutto il mondo analizzano questi dati.

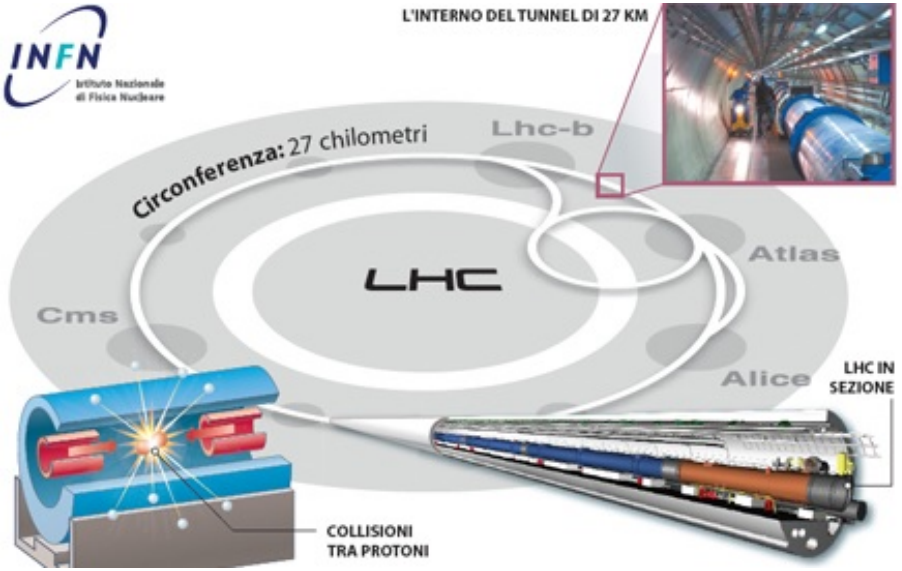
Punti di colisione

- L'intersezione dei fasci avviene in 4 punti della circonferenza;
- 4 enormi rivelatori, ospitati in ampie caverne, sono pronti a raccogliere i prodotti dell'interazione;
- una rete di computer filtra, processa, immagazzina milioni di GB di dati ogni anno;
- fisici di tutto il mondo analizzano questi dati.



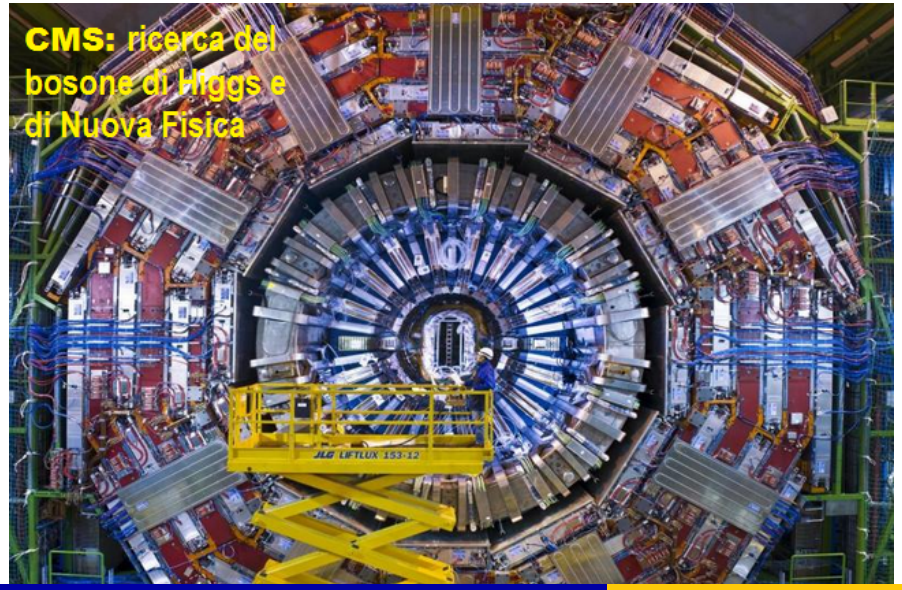
Punti di colisione

- L'intersezione dei fasci avviene in 4 punti della circonferenza;
- 4 enormi rivelatori, ospitati in ampie caverne, sono pronti a raccogliere i prodotti dell'interazione;
- una rete di computer filtra, processa, immagazzina milioni di GB di dati ogni anno;
- fisici di tutto il mondo analizzano questi dati.

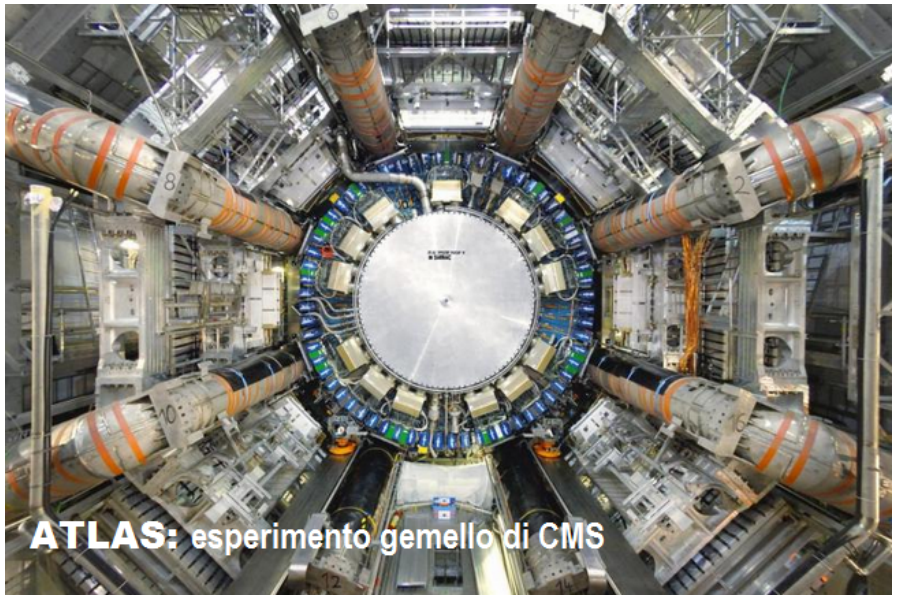


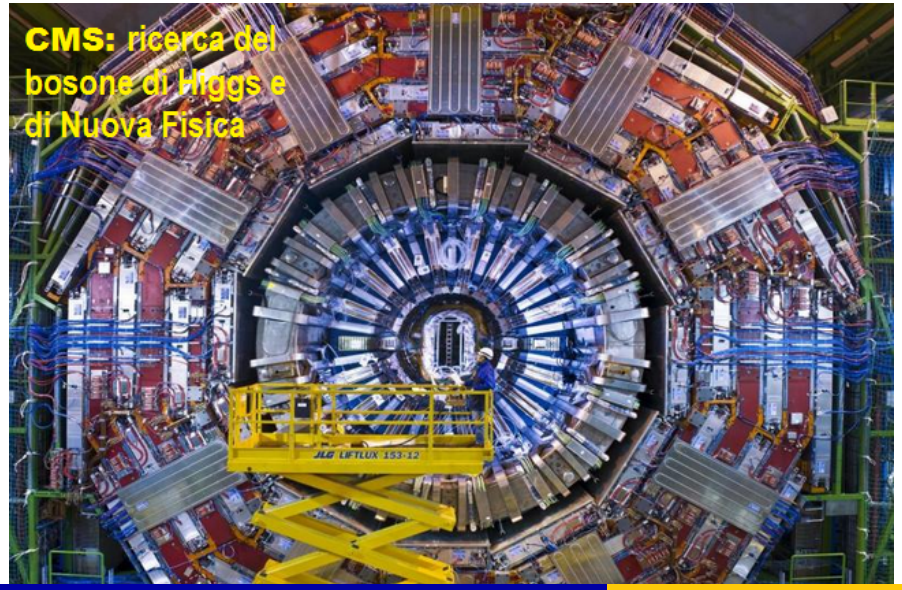
I 4 principali rivelatori

I 4 principali rivelatori

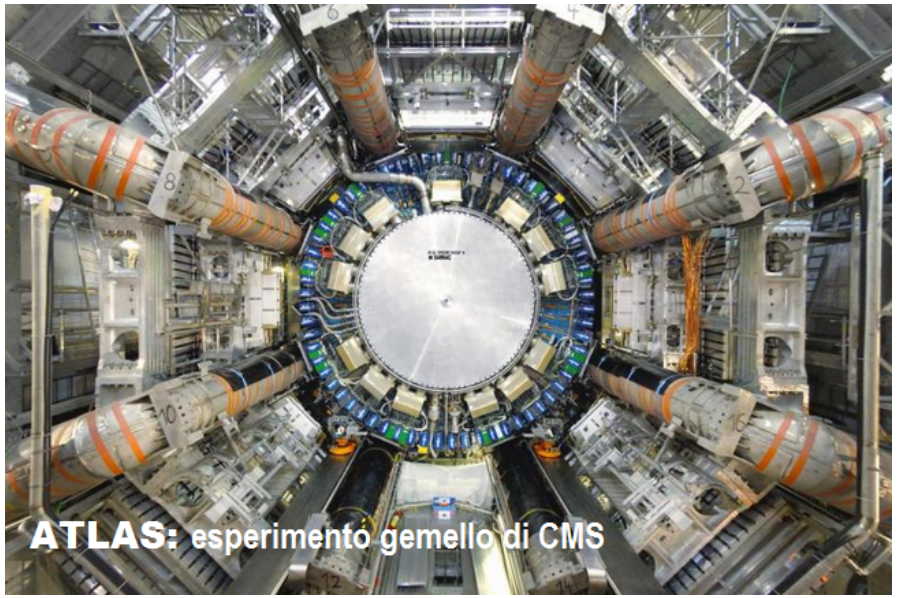


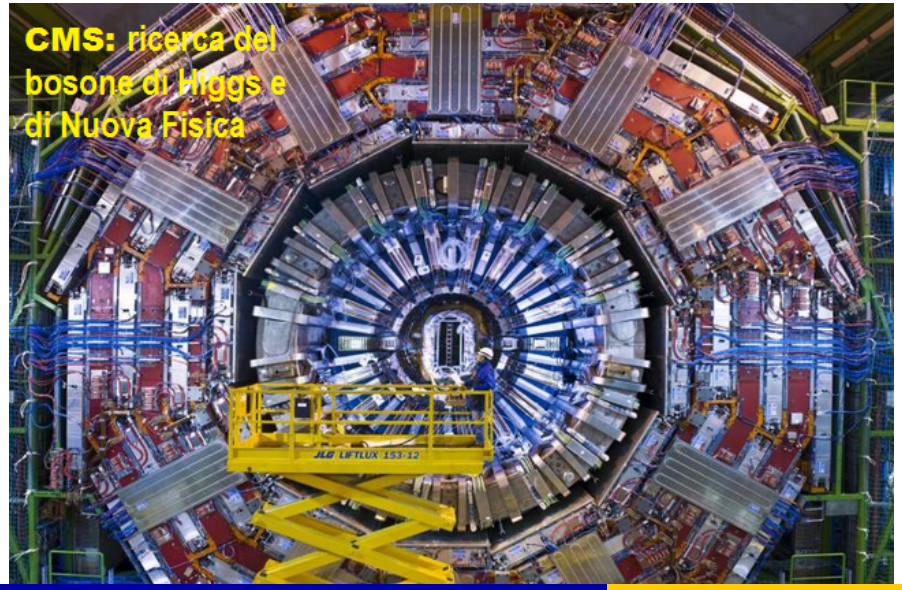
I 4 principali rivelatori

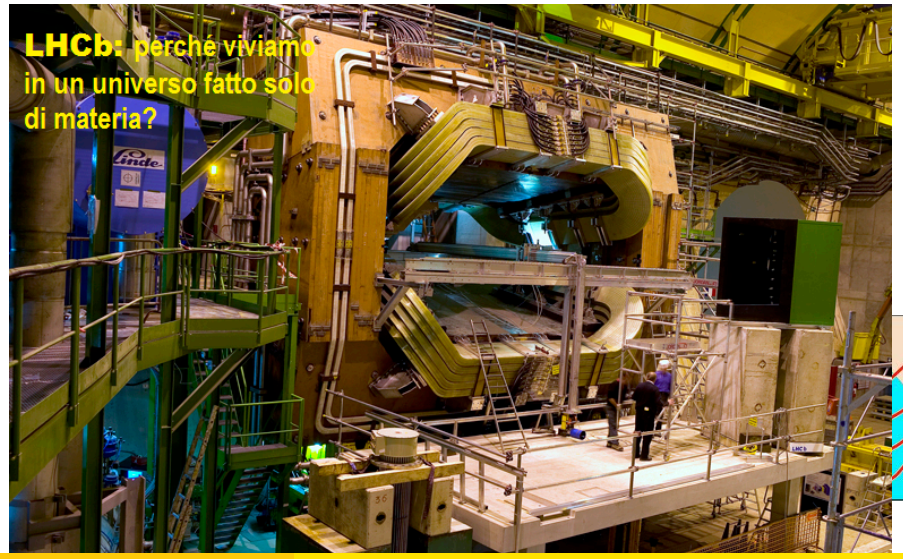




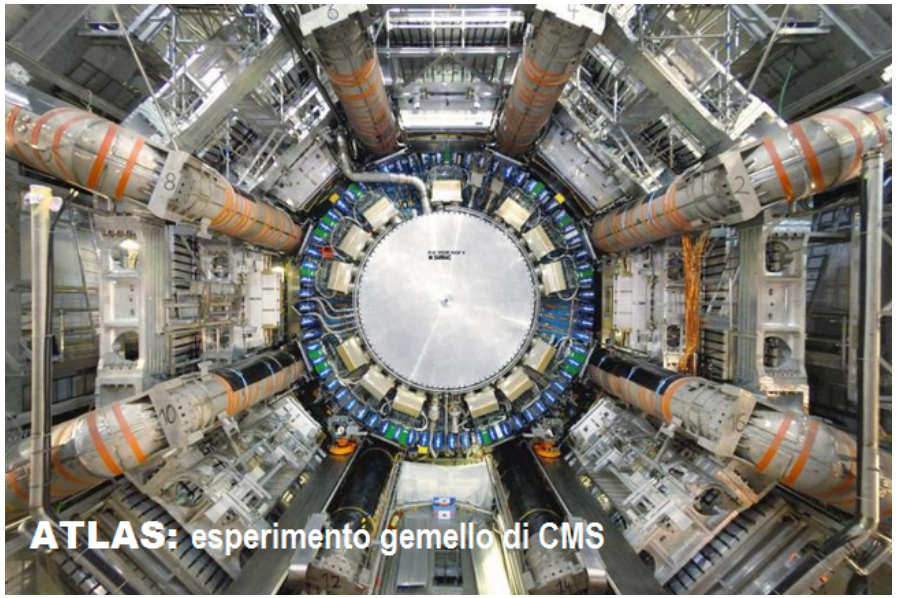
I 4 principali rivelatori

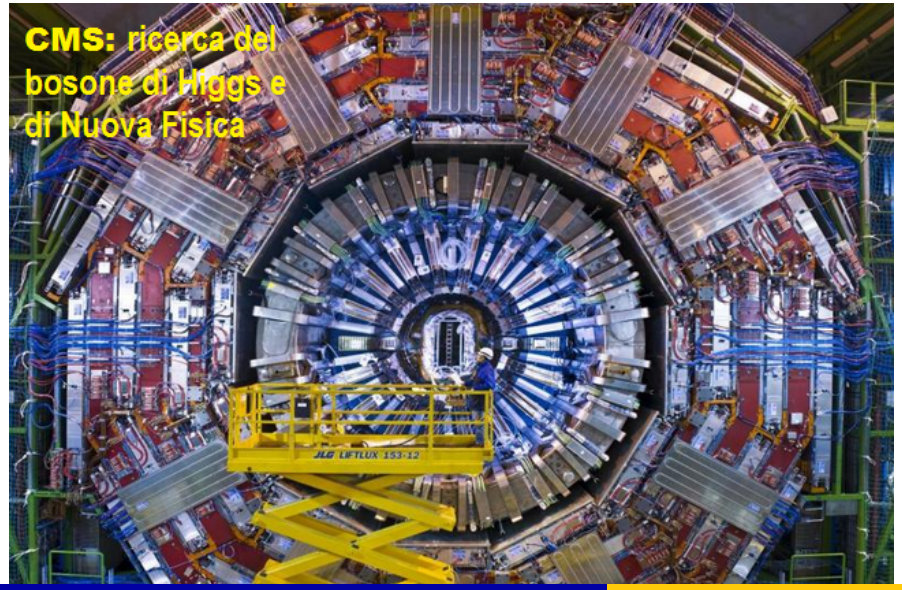


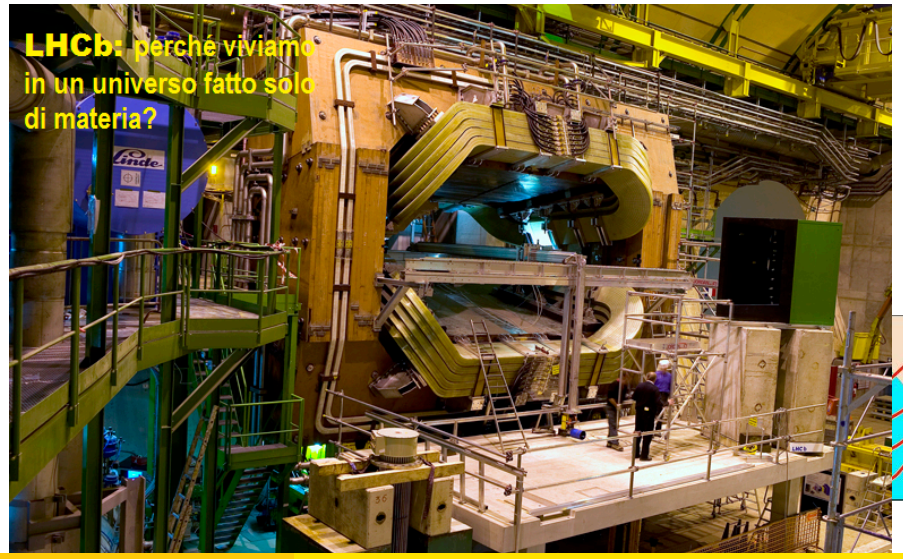




I 4 principali rivelatori

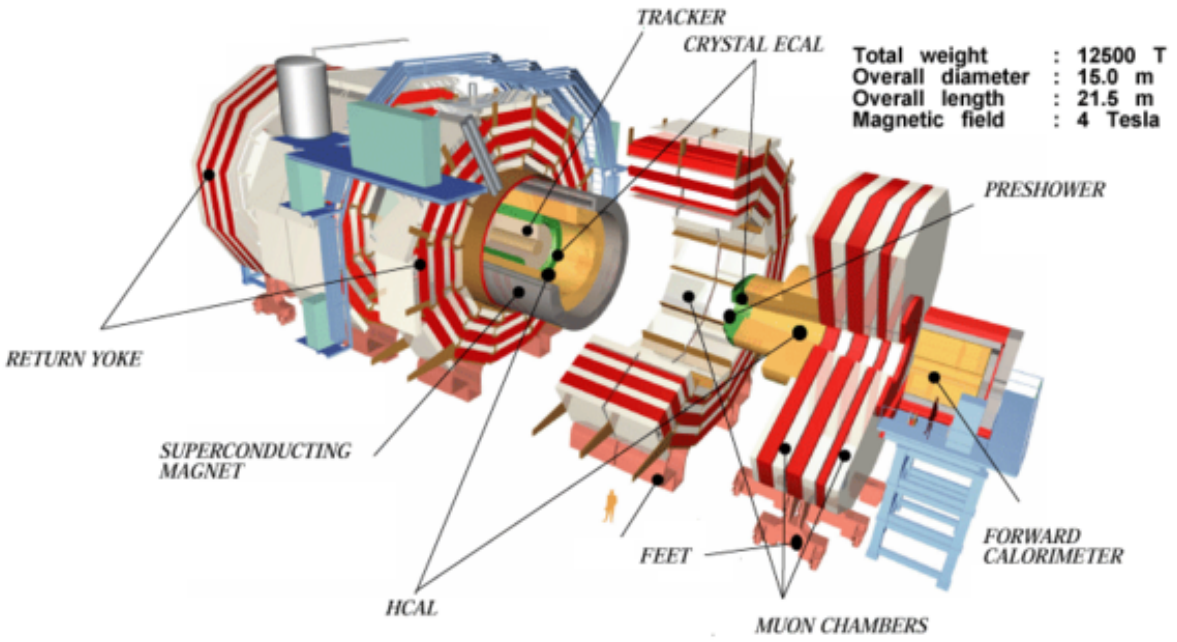






Un'enorme cipolla cilindrica

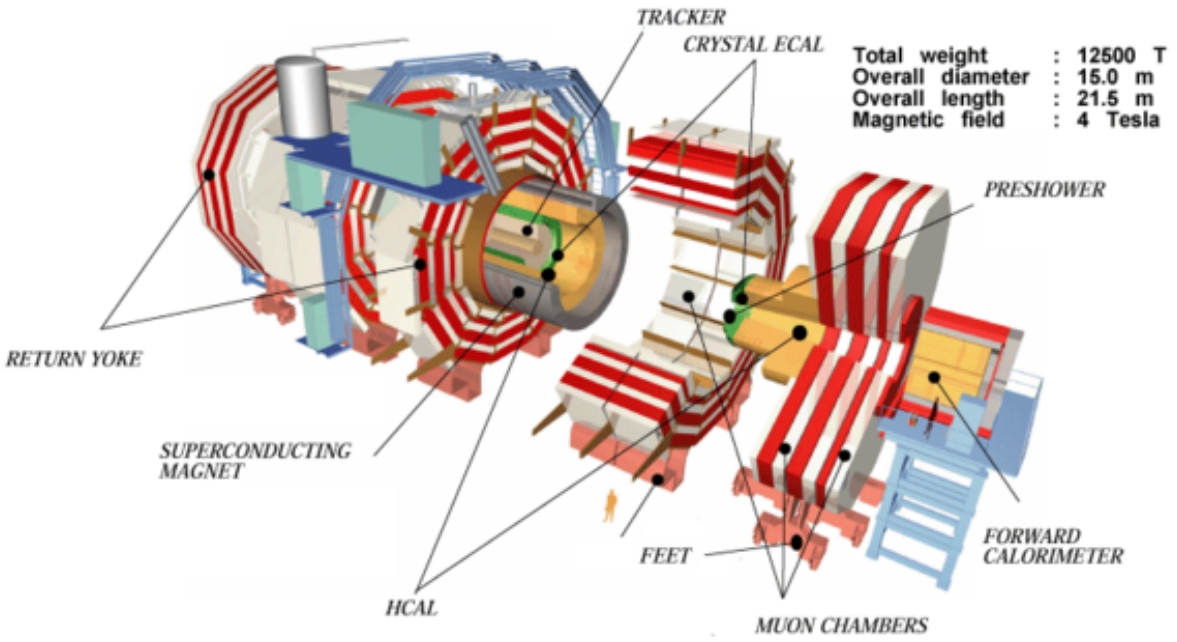
CMS
o u o
m o l
p n e
a n
c o
t i
d



- L'esperimento CMS è stato sviluppato a partire dal suo potente magnete solenoidale e superconduttore (4 Tesla!);

Un'enorme cipolla cilindrica

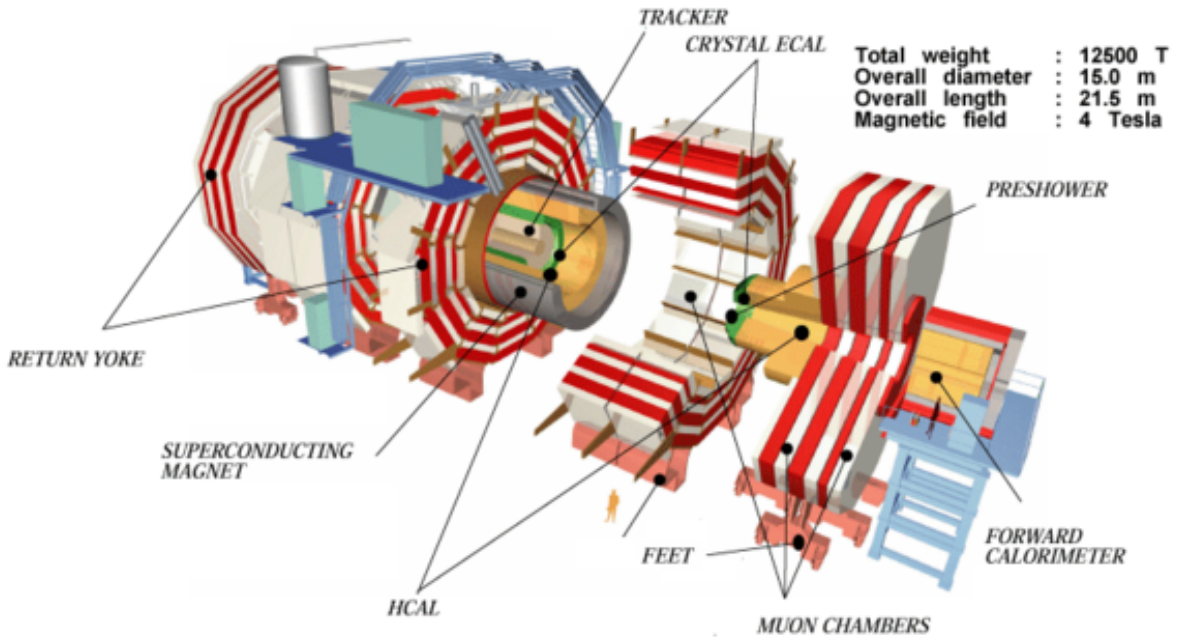
CMS
o u o
m o l
p n e
a n
c o
t i
d



- L'esperimento CMS è stato sviluppato a partire dal suo potente magnete solenoidale e superconduttore (4 Tesla!);
- organizzato a strati: un sotto-rivelatore dentro l'altro;

Un'enorme cipolla cilindrica

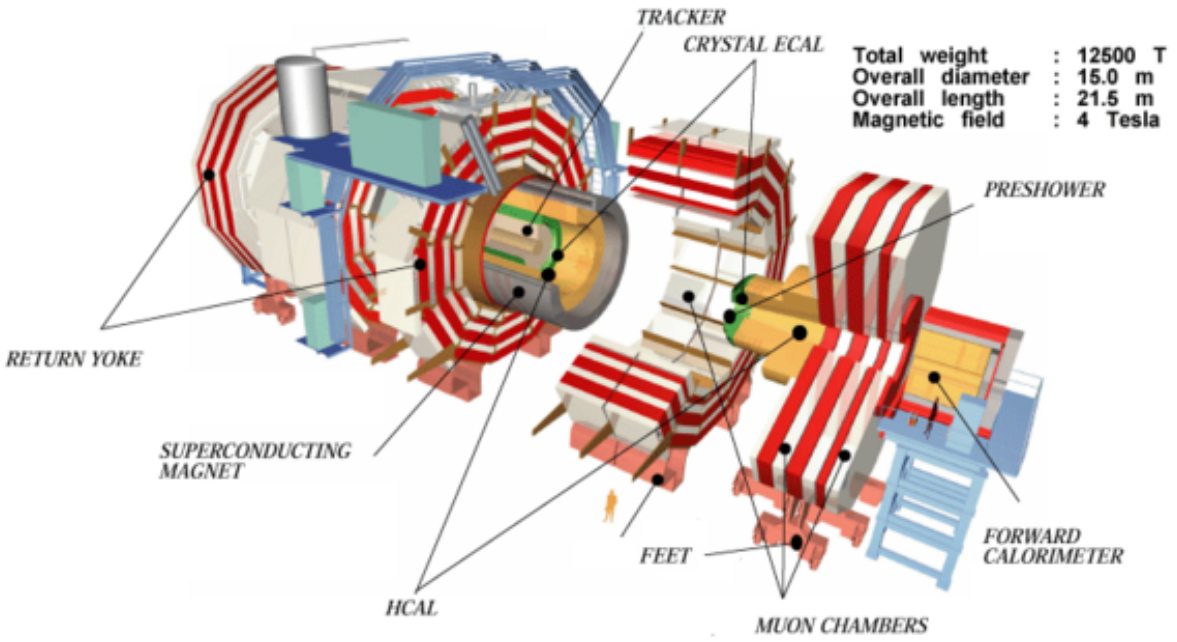
CMS
o u o
m o l
p n e
a n
c o
t i
d



- L'esperimento CMS è stato sviluppato a partire dal suo potente magnete solenoidale e superconduttore (4 Tesla!);
- organizzato a strati: un sotto-rivelatore dentro l'altro;
- il più pesante tra tutti gli esperimenti (12.5 t) ma molto compatto;

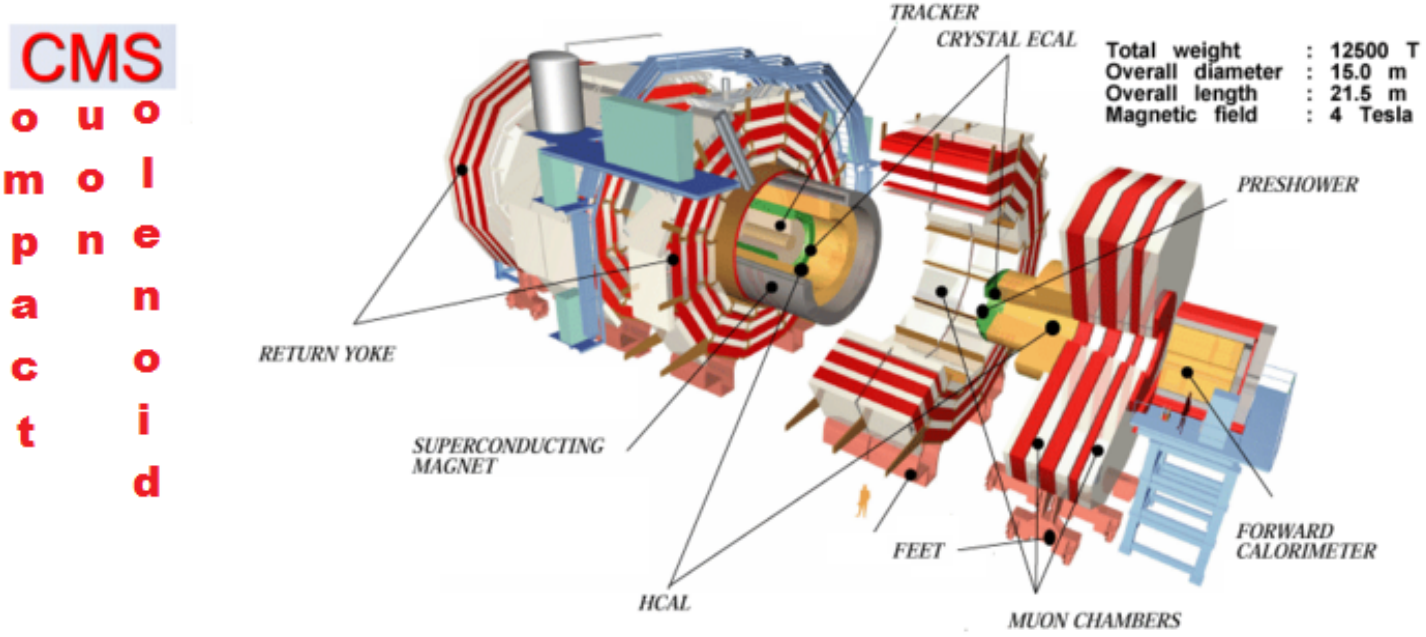
Un'enorme cipolla cilindrica

CMS
o u o
m o l
p n e
a n
c o
t i
d



- L'esperimento CMS è stato sviluppato a partire dal suo potente magnete solenoidale e superconduttore (4 Tesla!);
- organizzato a strati: un sotto-rivelatore dentro l'altro;
- il più pesante tra tutti gli esperimenti (12.5 t) ma molto compatto;
- le particelle che si osservano meglio sono i muoni.

Un'enorme cipolla cilindrica



- L'esperimento CMS è stato sviluppato a partire dal suo potente magnete solenoidale e superconduttore (4 Tesla!);
- organizzato a strati: un sotto-rivelatore dentro l'altro;
- il più pesante tra tutti gli esperimenti (12.5 t) ma molto compatto;
- le particelle che si osservano meglio sono i muoni.

Catturare le particelle

- Si misurano tracce, impulso, carica ed energia delle particelle;
- più alto è l'impulso trasverso di una particella, minore è il suo raggio di curvatura;

Catturare le particelle

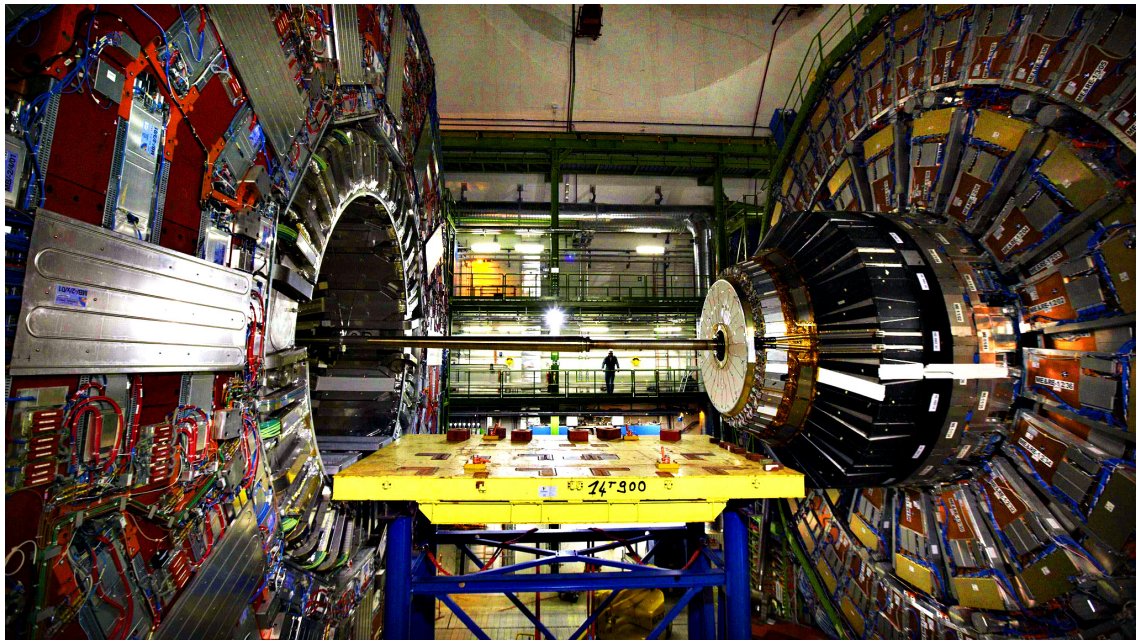
- Si misurano tracce, impulso, carica ed energia delle particelle;
- più alto è l'impulso trasverso di una particella, minore è il suo raggio di curvatura;
- dentro il magnete: il tracciatori, il calorimetro elettromagnetico e quello adronico.

Catturare le particelle

- Si misurano tracce, impulso, carica ed energia delle particelle;
- più alto è l'impulso trasverso di una particella, minore è il suo raggio di curvatura;
- dentro il magnete: il tracciatori, il calorimetro elettromagnetico e quello adronico.
- fuori dal solenoide: le camere a gas per i muoni.

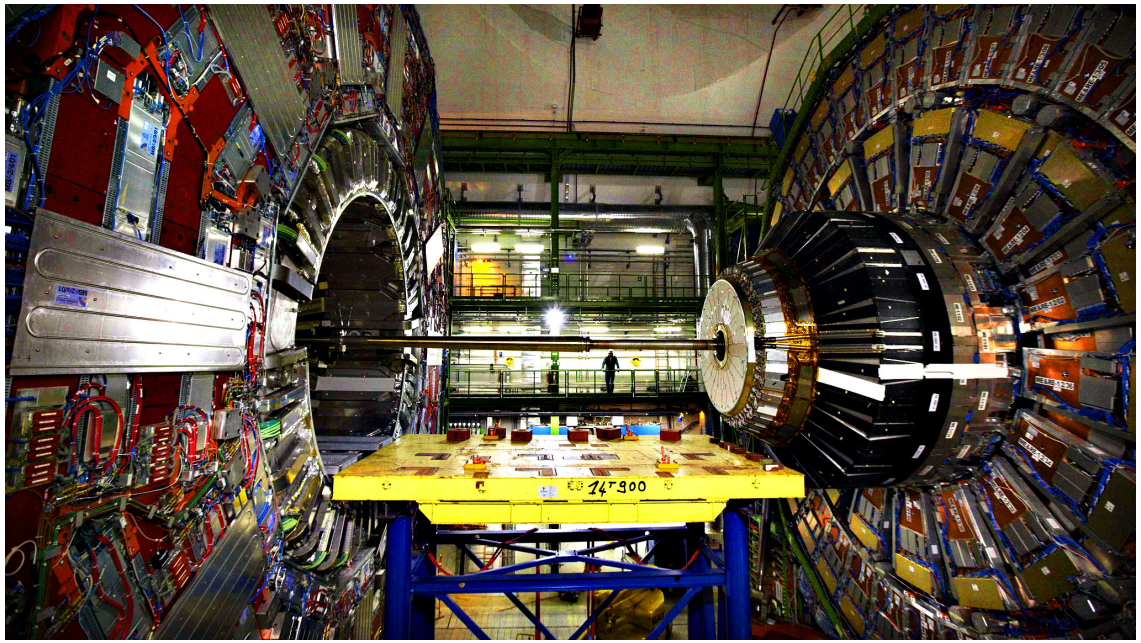
Catturare le particelle

- Si misurano tracce, impulso, carica ed energia delle particelle;
- più alto è l'impulso trasverso di una particella, minore è il suo raggio di curvatura;
- dentro il magnete: il tracciatori, il calorimetro elettromagnetico e quello adronico.
- fuori dal solenoide: le camere a gas per i muoni.

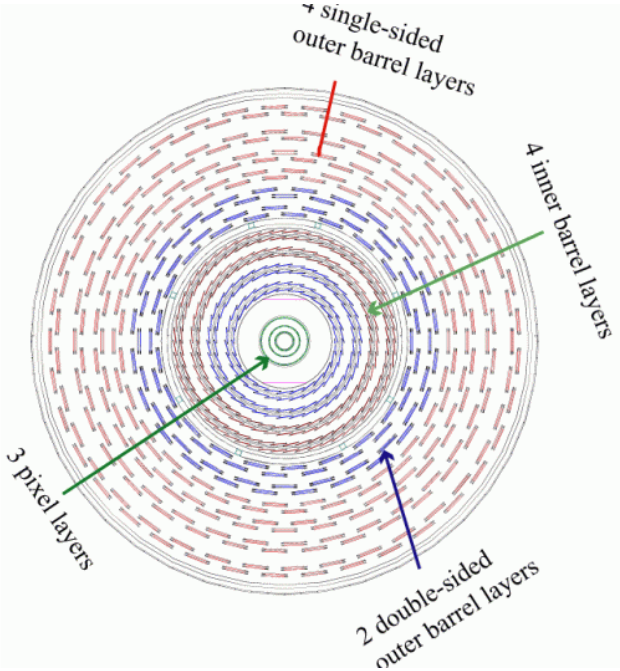


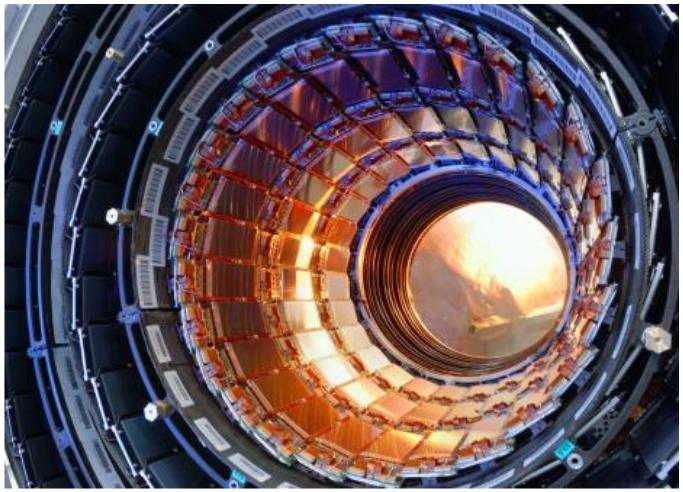
Catturare le particelle

- Si misurano tracce, impulso, carica ed energia delle particelle;
- più alto è l'impulso trasverso di una particella, minore è il suo raggio di curvatura;
- dentro il magnete: il tracciatori, il calorimetro elettromagnetico e quello adronico.
- fuori dal solenoide: le camere a gas per i muoni.



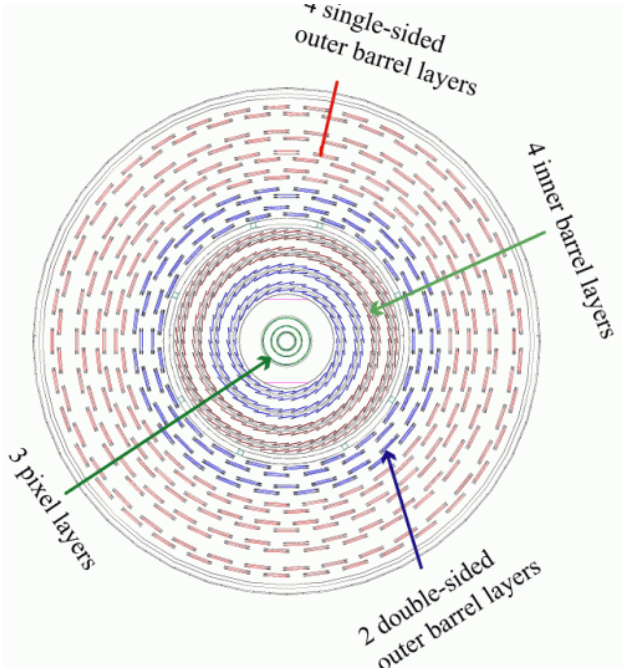
Impronte di particelle cariche

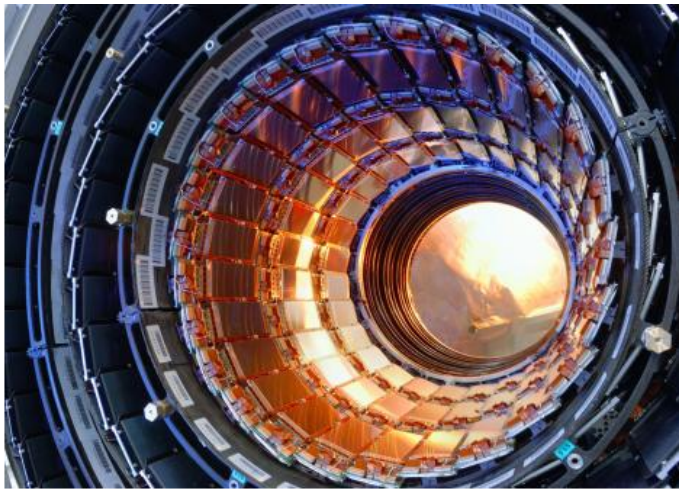




- Il tracciatore è fatto di piccole piastrelle di silicio che possono "accendersi" al passaggio di una particella carica;

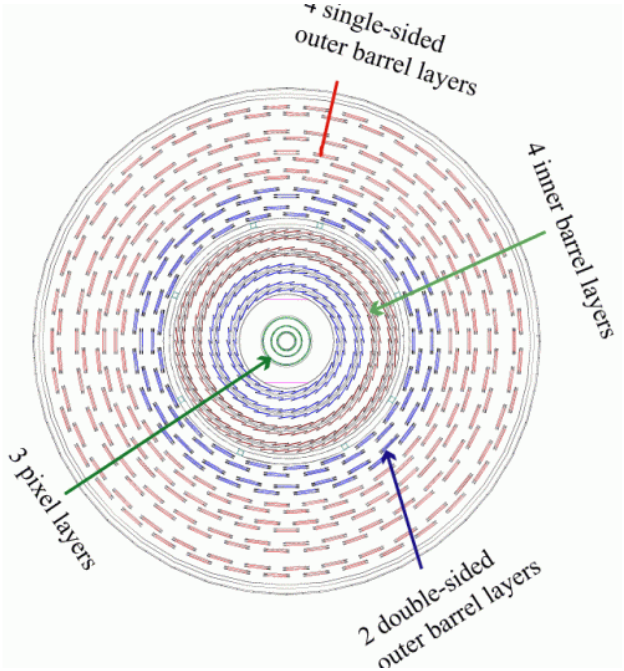
Impronte di particelle cariche

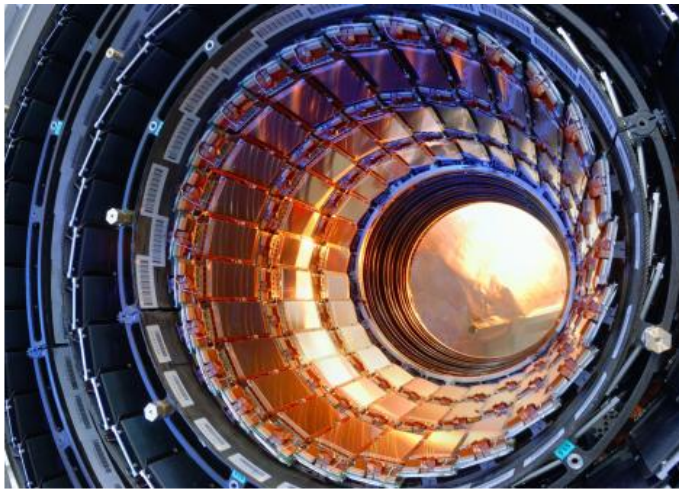




- Il tracciatore è fatto di piccole piastrelle di silicio che possono "accendersi" al passaggio di una particella carica;
- il meccanismo fisico che le attiva è la ionizzazione: le cariche sono separate e raccolte dando vita a un segnale elettrico;

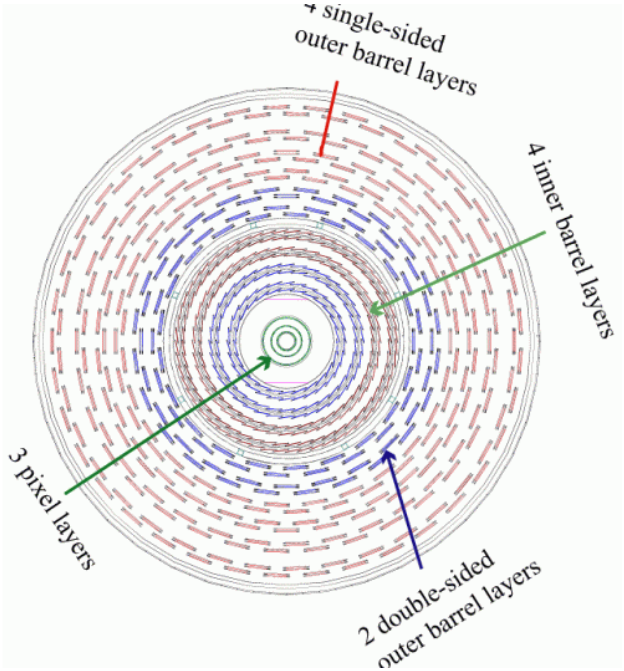
Impronte di particelle cariche

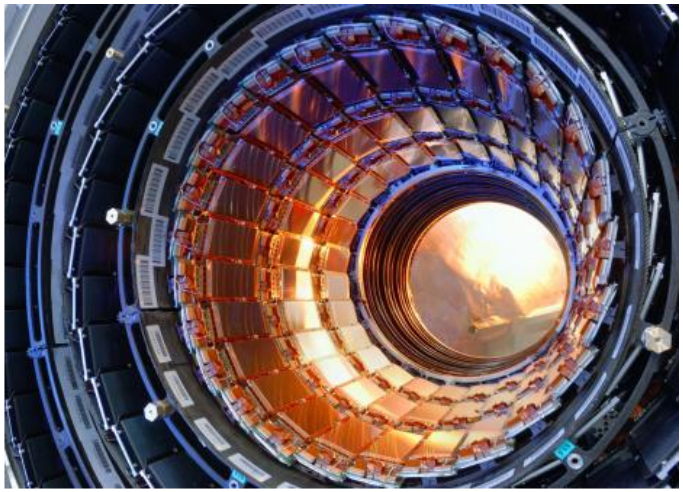




- Il tracciatore è fatto di piccole piastrelle di silicio che possono "accendersi" al passaggio di una particella carica;
- il meccanismo fisico che le attiva è la ionizzazione: le cariche sono separate e raccolte dando vita a un segnale elettrico;
- la segmentazione diminuisce man mano che si va verso l'esterno, dove la densità di tracce decresce;

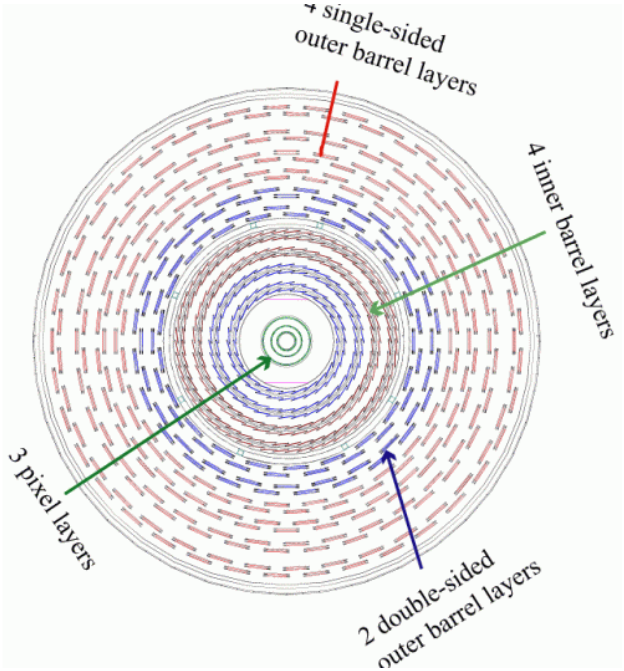
Impronte di particelle cariche

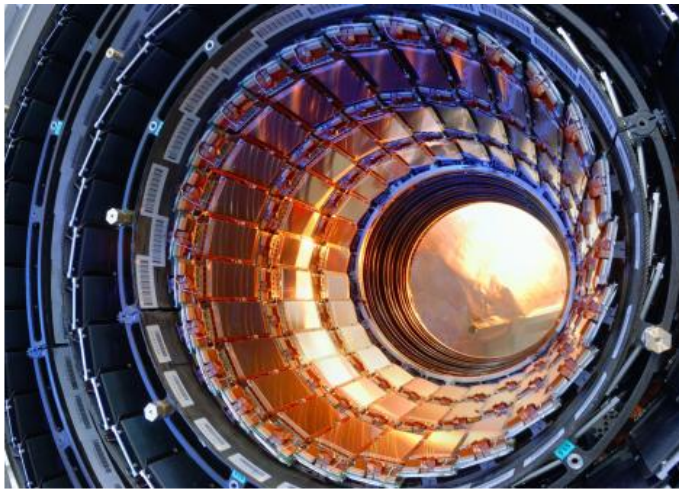




- Il tracciatore è fatto di piccole piastrelle di silicio che possono "accendersi" al passaggio di una particella carica;
- il meccanismo fisico che le attiva è la ionizzazione: le cariche sono separate e raccolte dando vita a un segnale elettrico;
- la segmentazione diminuisce man mano che si va verso l'esterno, dove la densità di tracce decresce;
- sono misurati traccia, carica e impulso delle particelle cariche.

Impronte di particelle cariche





- Il tracciatore è fatto di piccole piastrelle di silicio che possono "accendersi" al passaggio di una particella carica;
- il meccanismo fisico che le attiva è la ionizzazione: le cariche sono separate e raccolte dando vita a un segnale elettrico;
- la segmentazione diminuisce man mano che si va verso l'esterno, dove la densità di tracce decresce;
- sono misurati traccia, carica e impulso delle particelle cariche.

Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;

Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;
- la particella entrante, interagendo con la materia del calorimetro origina uno sciame di altre particelle;

Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;
- la particella entrante, interagendo con la materia del calorimetro origina uno sciame di altre particelle;
- lo sciame sviluppandosi perde gradualmente energia;

Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;
- la particella entrante, interagendo con la materia del calorimetro origina uno sciame di altre particelle;
- lo sciame sviluppandosi perde gradualmente energia;
- l'energia è assorbita dai cristalli o materiale plastico del calorimetro;

Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;
- la particella entrante, interagendo con la materia del calorimetro origina uno sciame di altre particelle;
- lo sciame sviluppandosi perde gradualmente energia;
- l'energia è assorbita dai cristalli o materiale plastico del calorimetro;
- questa viene subito dopo rilasciata in forma di fotoni che sono raccolti da altri detector posizionati intorno al calorimetro;

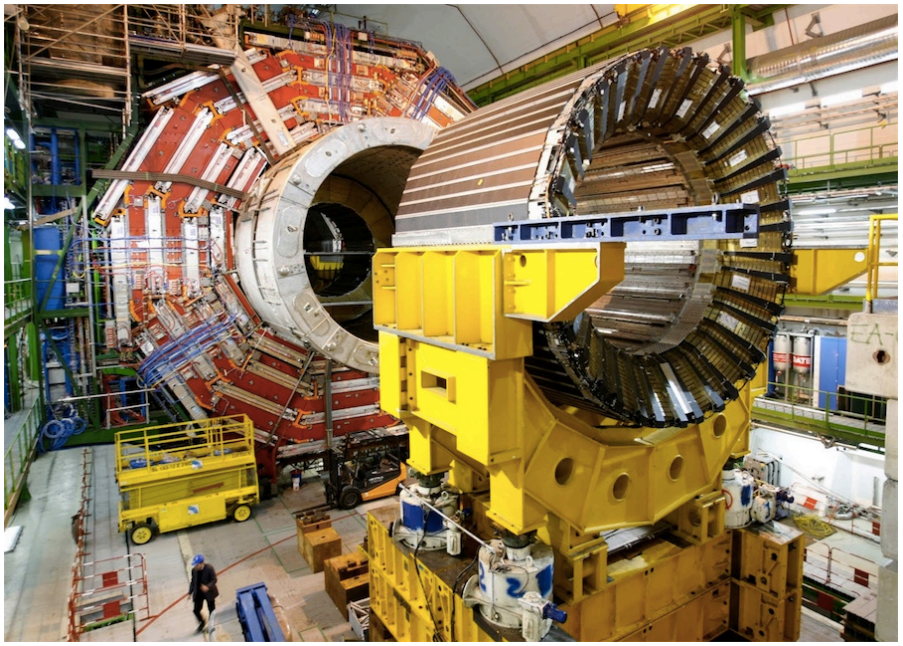
Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;
- la particella entrante, interagendo con la materia del calorimetro origina uno sciame di altre particelle;
- lo sciame sviluppandosi perde gradualmente energia;
- l'energia è assorbita dai cristalli o materiale plastico del calorimetro;
- questa viene subito dopo rilasciata in forma di fotoni che sono raccolti da altri detector posizionati intorno al calorimetro;
- la luce raccolta è convertita in un segnale elettrico.

Frenare la corsa di una particella

- I calorimetri sono specializzati nella misura di energia;
- possono essere omogenei o a campionamento;
- la particella entrante, interagendo con la materia del calorimetro origina uno sciame di altre particelle;
- lo sciame sviluppandosi perde gradualmente energia;
- l'energia è assorbita dai cristalli o materiale plastico del calorimetro;
- questa viene subito dopo rilasciata in forma di fotoni che sono raccolti da altri detector posizionati intorno al calorimetro;
- la luce raccolta è convertita in un segnale elettrico.

I due calorimetri di CMS

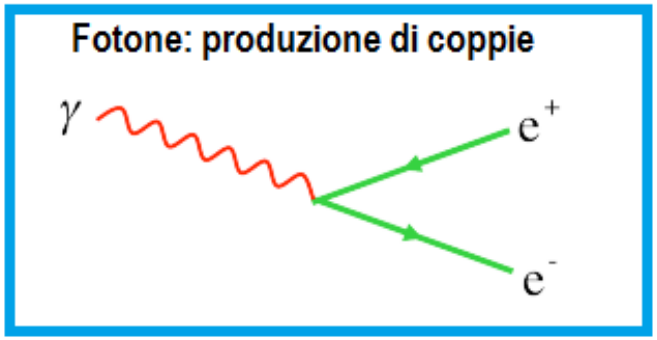


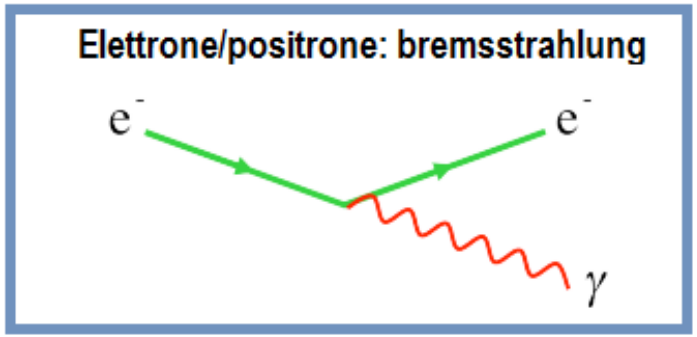
Sciame elettromagnetico

- Il calorimetro elettromagnetico assorbe elettroni e fotoni;
- questi producono uno sciame identico e sono discriminabili solo con l'aiuto del tracciatore;

Sciame elettromagnetico

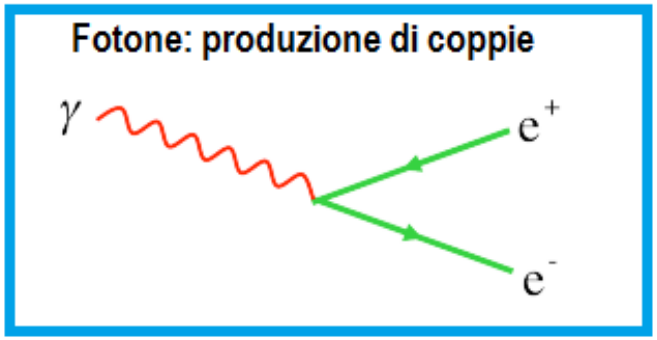
- Il calorimetro elettromagnetico assorbe elettroni e fotoni;
- questi producono uno sciame identico e sono discriminabili solo con l'aiuto del tracciatore;

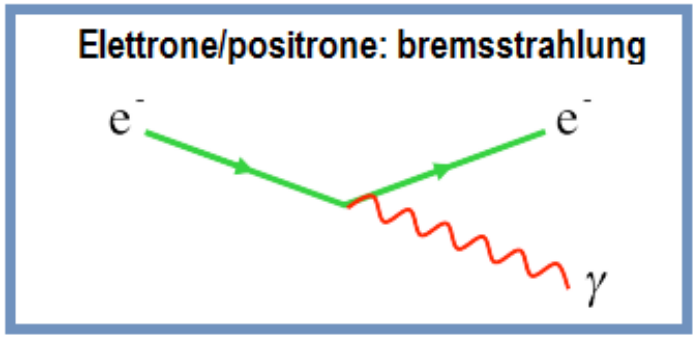


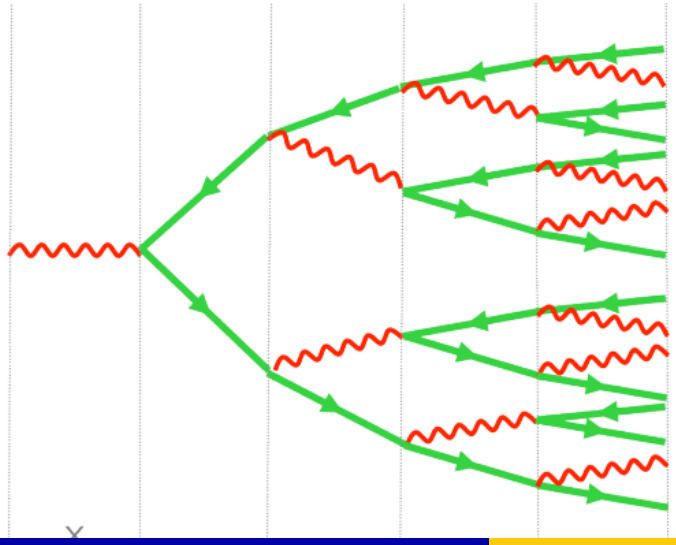


Sciame elettromagnetico

- Il calorimetro elettromagnetico assorbe elettroni e fotoni;
- questi producono uno sciame identico e sono discriminabili solo con l'aiuto del tracciatore;

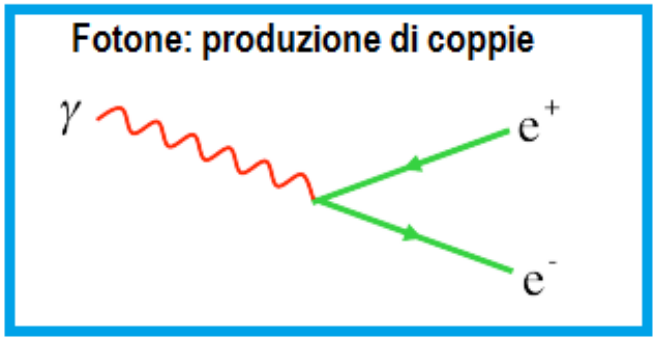


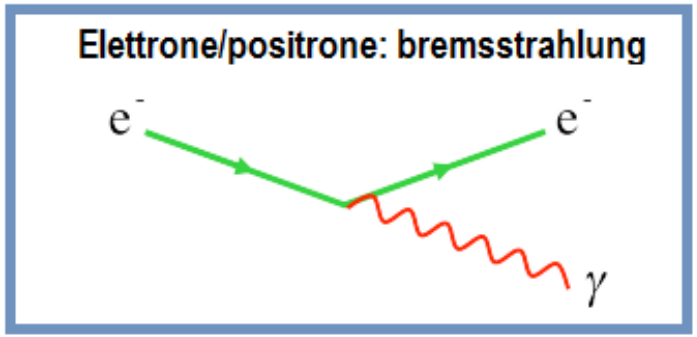


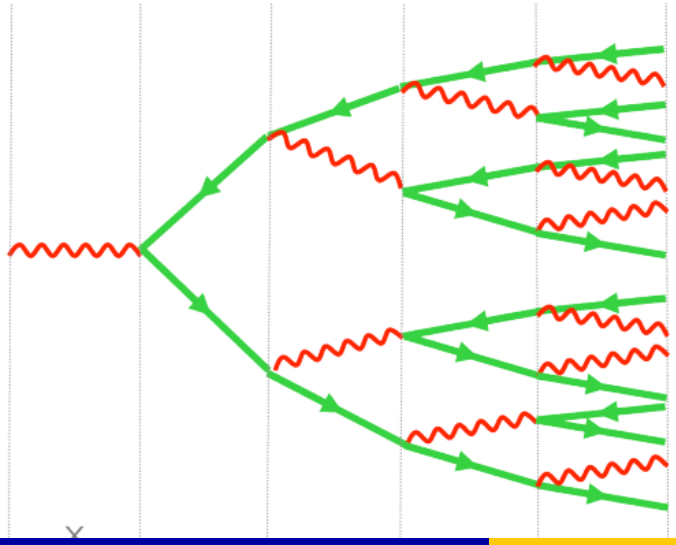


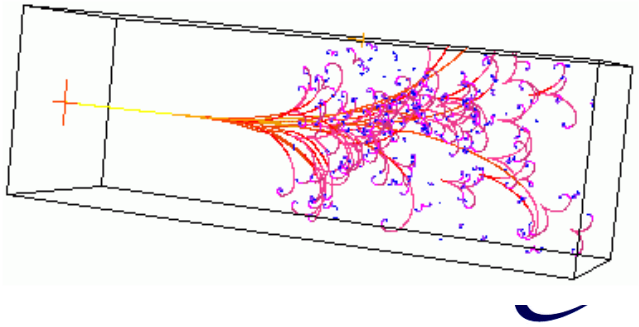
Sciame elettromagnetico

- Il calorimetro elettromagnetico assorbe elettroni e fotoni;
- questi producono uno sciame identico e sono discriminabili solo con l'aiuto del tracciatore;



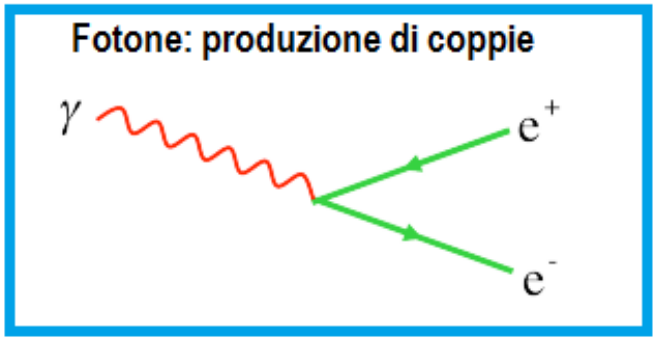


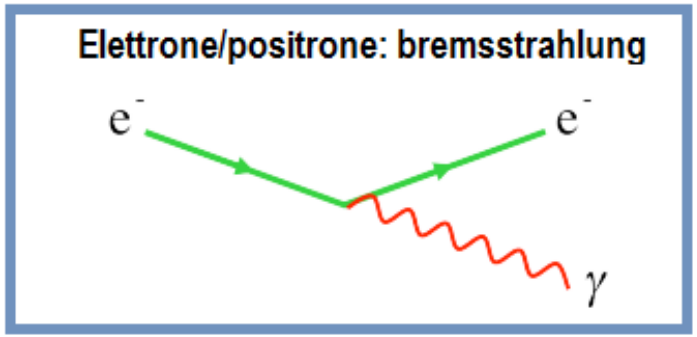


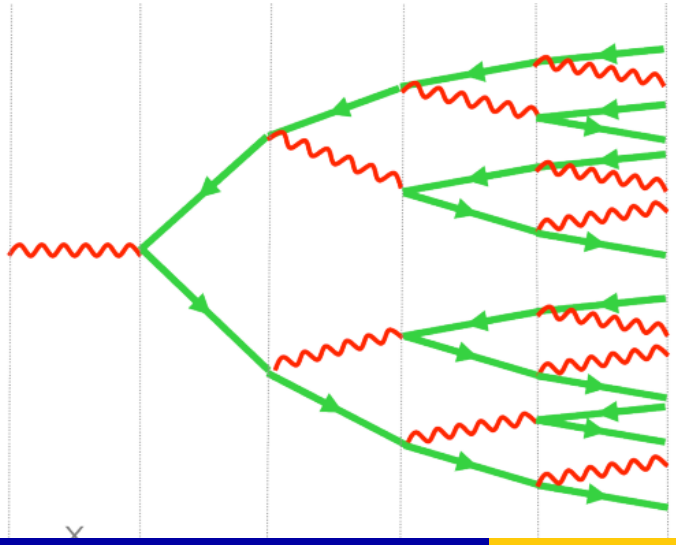


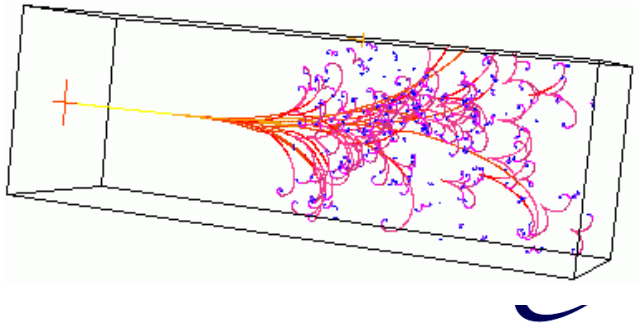
Sciame elettromagnetico

- Il calorimetro elettromagnetico assorbe elettroni e fotoni;
- questi producono uno sciame identico e sono discriminabili solo con l'aiuto del tracciatore;

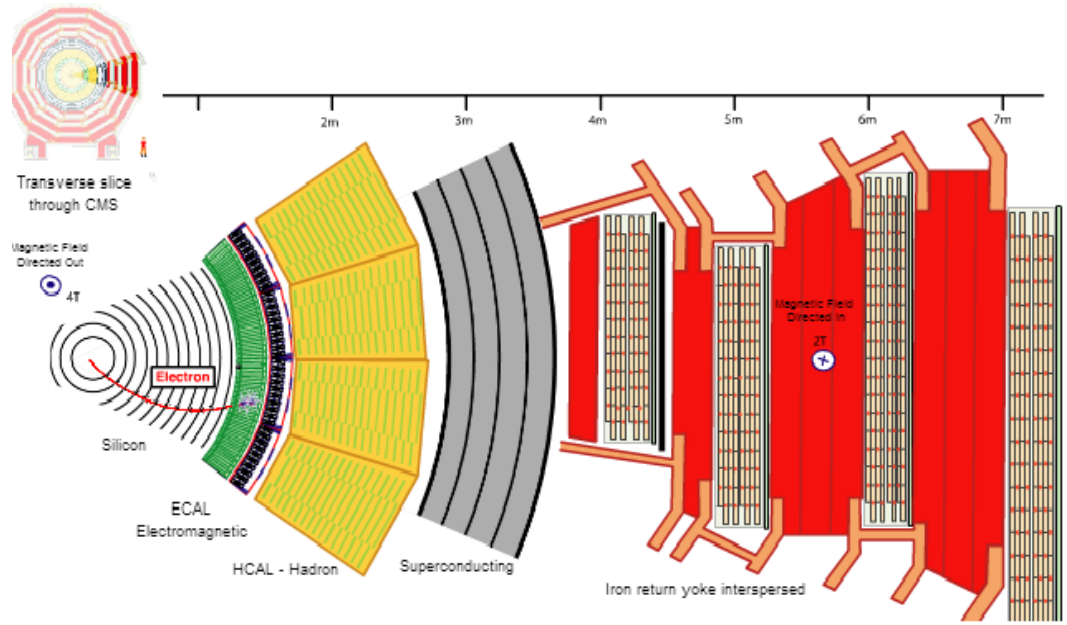


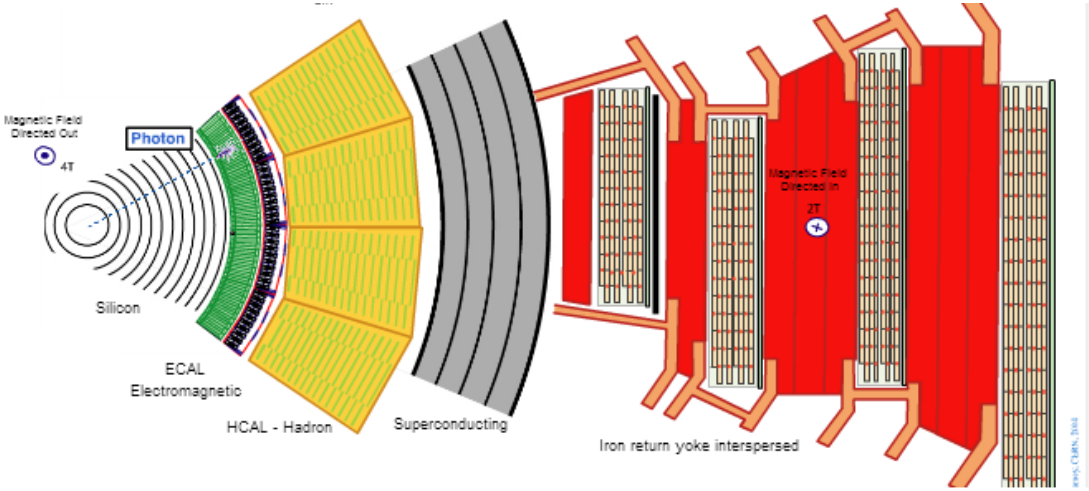






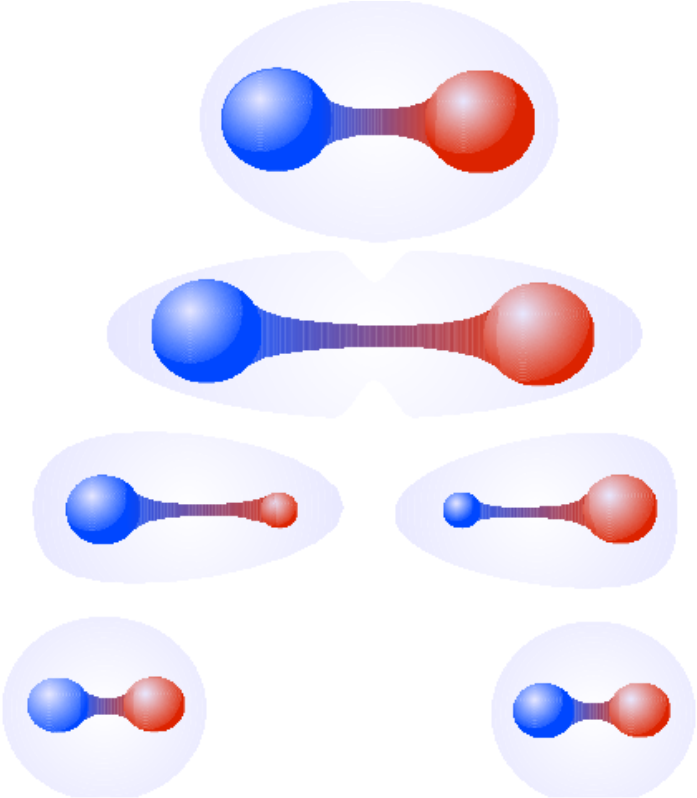
Elettrone o fotone?





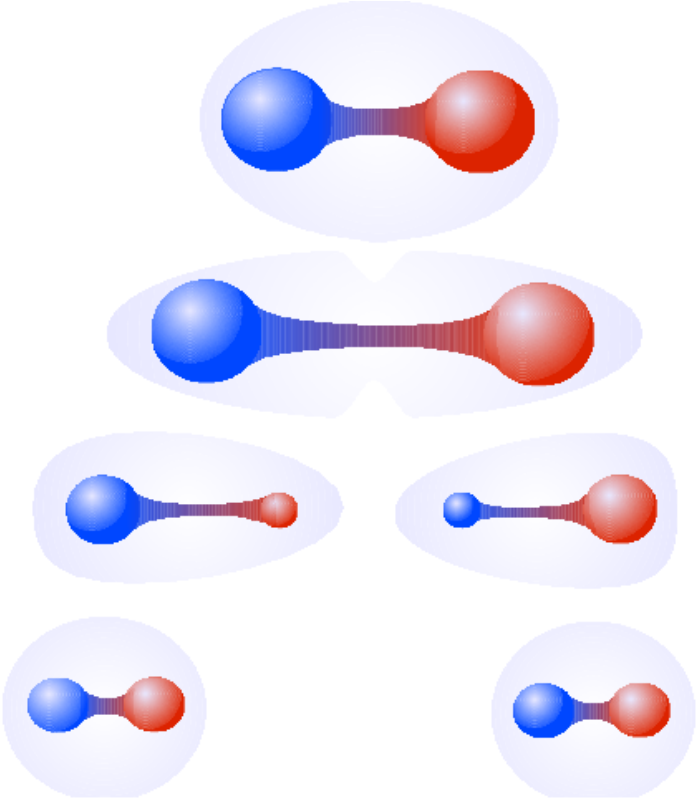
Una strana forza

- L'interazione forte è una forza molto bizzarra: diventa più intensa quando due quark si allontanano, e più debole quando si avvicinano (all'opposto di quella elettromagnetica);
- per questo un quark non può produrre direttamente uno sciame, come un elettrone e un fotone ma appena prodotto è "costretto" ad associarsi ad altri quark e formare particelle composite, gli adroni;
- non esistono quark isolati.



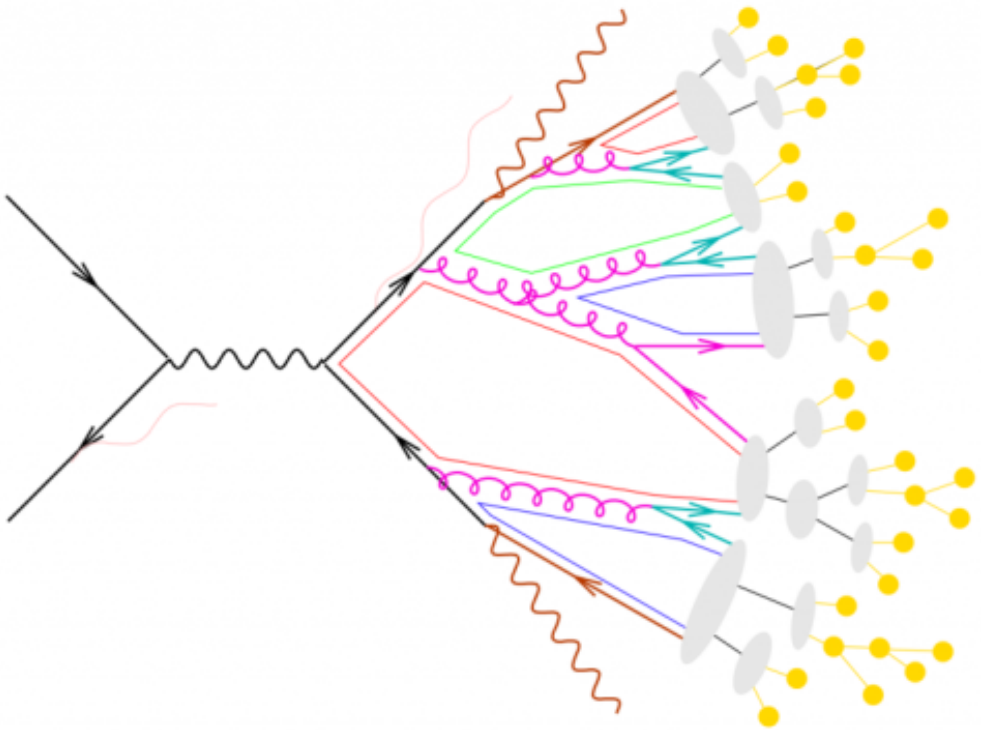
Una strana forza

- L'interazione forte è una forza molto bizzarra: diventa più intensa quando due quark si allontanano, e più debole quando si avvicinano (all'opposto di quella elettromagnetica);
- per questo un quark non può produrre direttamente uno sciame, come un elettrone e un fotone ma appena prodotto è "costretto" ad associarsi ad altri quark e formare particelle composite, gli adroni;
- non esistono quark isolati.



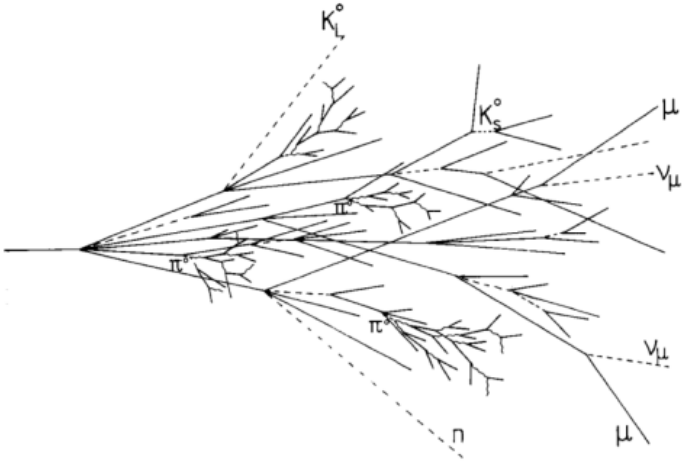
Quark confinati in adroni

A livello di particelle elementari si producono quark e gluoni che sono però presto "confinati" all'interno di adroni, questo processo si chiama "adronizzazione":

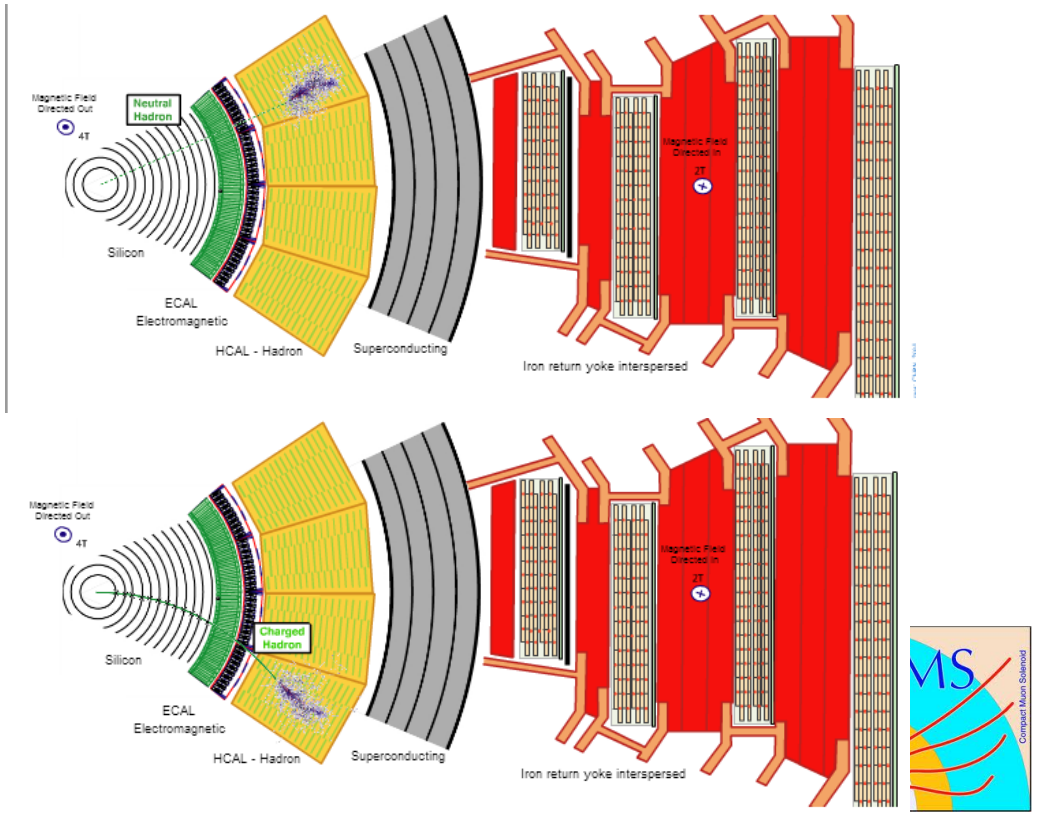


Lo sciame adronico

Uno sciame iniziato da un adrone è più lungo e più largo di uno sciame elm e contiene una gran varietà di particelle:



Così come per fotone ed elettrone, si può distinguere un adrone carico da uno neutro usando l'informazione del tracciatore:



Particelle che lasciano il segno

- Abbiamo capito queli sono i segni che alcuni oggetti lasciano nel rivelatore al loro passaggio: muoni, elettroni, fotoni e adroni carichi e neutri;
- mancano all'appello i neutrini, che sono particelle-fantasma e sono rivelabili solo indirettamente, dall'energia e l'impulso mancanti;

Particelle che lasciano il segno

- Abbiamo capito queli sono i segni che alcuni oggetti lasciano nel rivelatore al loro passaggio: muoni, elettroni, fotoni e adroni carichi e neutri;
- mancano all'appello i neutrini, che sono particelle-fantasma e sono rivelabili solo indirettamente, dall'energia e l'impulso mancanti;

Particelle che lasciano il segno

- Abbiamo capito queli sono i segni che alcuni oggetti lasciano nel rivelatore al loro passaggio: muoni, elettroni, fotoni e adroni carichi e neutri;
- mancano all'appello i neutrini, che sono particelle-fantasma e sono rivelabili solo indirettamente, dall'energia e l'impulso mancanti;

Ricostruire il puzzle

- cerchiamo di ricostruire alcune particelle a partire dallo stato finale osservato, ovvero dai prodotti del loro decadimento;
- concentriamoci sui mediatori dell'interazione debole...

Ricostruire il puzzle

- cerchiamo di ricostruire alcune particelle a partire dallo stato finale osservato, ovvero dai prodotti del loro decadimento;
- concentriamoci sui mediatori dell'interazione debole...

L'interazione debole

- L'interazione debole è responsabile del fatto che tutti i quark e tutti i leptoni di massa maggiore decadono per produrre quark più leggeri ed elettroni.
- Una particella che decade sparisce, e al suo posto appaiono due o più particelle la cui somma delle masse è inferiore alla massa iniziale: la materia stabile che ci circonda contiene solo elettroni e i quark più leggeri (up e down).

L'interazione debole

- L'interazione debole è responsabile del fatto che tutti i quark e tutti i leptoni di massa maggiore decadono per produrre quark più leggeri ed elettroni.
- Una particella che decade sparisce, e al suo posto appaiono due o più particelle la cui somma delle masse è inferiore alla massa iniziale: la materia stabile che ci circonda contiene solo elettroni e i quark più leggeri (up e down).
- sentono questa forza sia i leptoni che i quark;

L'interazione debole

- L'interazione debole è responsabile del fatto che tutti i quark e tutti i leptoni di massa maggiore decadono per produrre quark più leggeri ed elettroni.
- Una particella che decade sparisce, e al suo posto appaiono due o più particelle la cui somma delle masse è inferiore alla massa iniziale: la materia stabile che ci circonda contiene solo elettroni e i quark più leggeri (up e down).
- sentono questa forza sia i leptoni che i quark;
- Le particelle mediatrici dell'interazione debole sono i bosoni W^+, W^-, Z^0.

L'interazione debole

- L'interazione debole è responsabile del fatto che tutti i quark e tutti i leptoni di massa maggiore decadono per produrre quark più leggeri ed elettroni.
- Una particella che decade sparisce, e al suo posto appaiono due o più particelle la cui somma delle masse è inferiore alla massa iniziale: la materia stabile che ci circonda contiene solo elettroni e i quark più leggeri (up e down).
- sentono questa forza sia i leptoni che i quark;
- Le particelle mediatrici dell'interazione debole sono i bosoni W^+, W^-, Z^0.
- Nel MS l'interazione elettromagnetica e quella debole sono unificate nella forza elettrodebole.

L'interazione debole

- L'interazione debole è responsabile del fatto che tutti i quark e tutti i leptoni di massa maggiore decadono per produrre quark più leggeri ed elettroni.
- Una particella che decade sparisce, e al suo posto appaiono due o più particelle la cui somma delle masse è inferiore alla massa iniziale: la materia stabile che ci circonda contiene solo elettroni e i quark più leggeri (up e down).
- sentono questa forza sia i leptoni che i quark;
- Le particelle mediatrici dell'interazione debole sono i bosoni W^+, W^-, Z^0.
- Nel MS l'interazione elettromagnetica e quella debole sono unificate nella forza elettrodebole.
- E' stata la ricerca sulla radioattività che ha svelato l'esistenza di questa forza.

L'interazione debole

- L'interazione debole è responsabile del fatto che tutti i quark e tutti i leptoni di massa maggiore decadono per produrre quark più leggeri ed elettroni.
- Una particella che decade sparisce, e al suo posto appaiono due o più particelle la cui somma delle masse è inferiore alla massa iniziale: la materia stabile che ci circonda contiene solo elettroni e i quark più leggeri (up e down).
- sentono questa forza sia i leptoni che i quark;
- Le particelle mediatrici dell'interazione debole sono i bosoni W^+, W^-, Z^0.
- Nel MS l'interazione elettromagnetica e quella debole sono unificate nella forza elettrodebole.
- E' stata la ricerca sulla radioattività che ha svelato l'esistenza di questa forza.

Decadimenti di W^+ e W^-

Decay Modes

W^- modes are charge conjugates of the modes below.

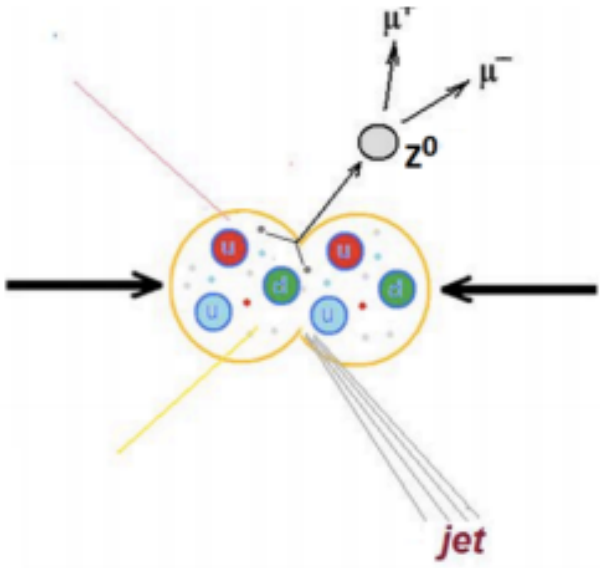
Γ_i	Mode		Fraction (Γ_i / Γ)
Γ_1	$W^+ \to \ell^+\nu$		$(1.080 \pm .009) \times 10^{-1}$
Γ_2	$W^+ \to e^+\nu$	circa 11%	$(1.075 \pm .013) \times 10^{-1}$
Γ_3	$W^+ \to \mu^+\nu$	circa 11%	$(1.057 \pm .015) \times 10^{-1}$
Γ_4	$W^+ \to \tau^+\nu$	circa 11%	$(1.125 \pm .020) \times 10^{-1}$
Γ_5	$W^+ \to$ hadrons	circa 68%	$(6.760 \pm .027) \times 10^{-1}$
Γ_6	$W^+ \to \pi^+\gamma$		$<8 \times 10^{-3}$
Γ_7	$W^+ \to D_s^+\gamma$		$<1.3 \times 10^{-3}$
Γ_8	$W^+ \to c X$		$.334 \pm .026$
Γ_9	$W^+ \to c\bar{s}$		$(.031\ ^{+.013}_{-.011}) \times 10^{1}$
Γ_{10}	$W^+ \to$ invisible		$1.4 \pm 2.9\ \%$

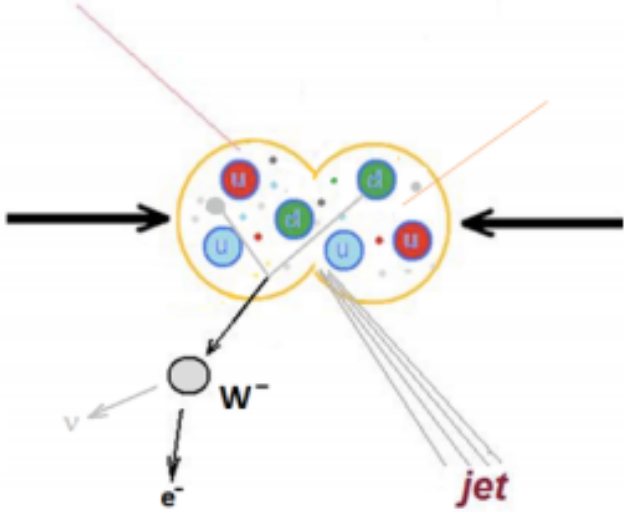
Decadimenti di Z^0

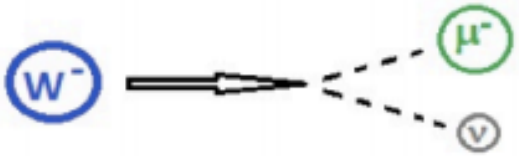
Decay Modes

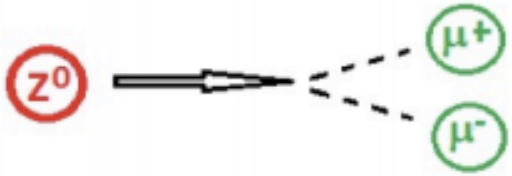
Γ_i	Mode		Fraction (Γ_i / Γ)
Γ_1	$Z \to e^+e^-$		3.363 ± 0.004 %
Γ_2	$Z \to \mu^+\mu^-$		3.366 ± 0.007 %
Γ_3	$Z \to \tau^+\tau^-$		3.370 ± 0.008 %
Γ_4	$Z \to \ell^+\ell^-$		3.3658 ± 0.0023 %
Γ_5	$Z \to \ell^+\ell^-\ell^+\ell^-$		$(4.2\ ^{+0.9}_{-0.8}) \times 10^{-6}$
Γ_6	$Z \to$ invisible	20%	$(2.000 \pm .006) \times 10^{-1}$
Γ_7	$Z \to$ hadrons	circa 70%	$(6.991 \pm .006) \times 10^{-1}$
Γ_8	$Z \to (u\bar{u} + c\bar{c})/2$		$.116 \pm .006$
Γ_9	$Z \to (d\bar{d} + s\bar{s} + b\bar{b})/3$		$.156 \pm .004$
Γ_{10}	$Z \to c\bar{c}$		$(1.203 \pm .021) \times 10^{-1}$
Γ_{11}	$Z \to b\bar{b}$		$(1.512 \pm .005) \times 10^{-1}$
Γ_{12}	$Z \to b\bar{b}b\bar{b}$		$(3.6 \pm 1.3) \times 10^{-4}$

Frammenti di Z e W

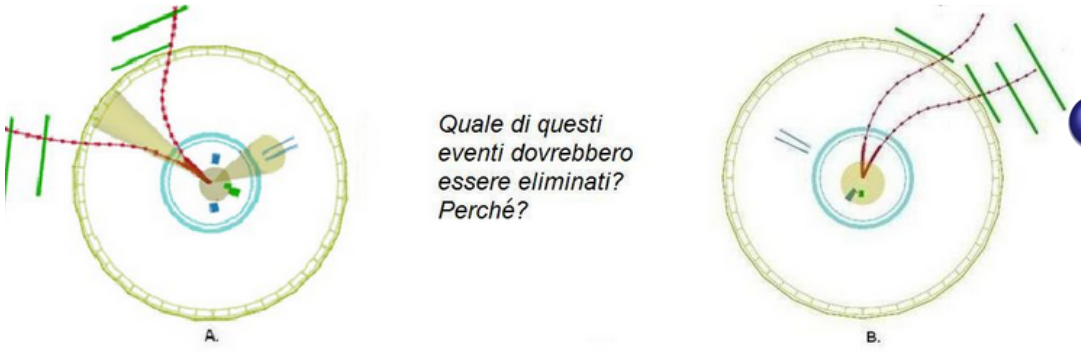


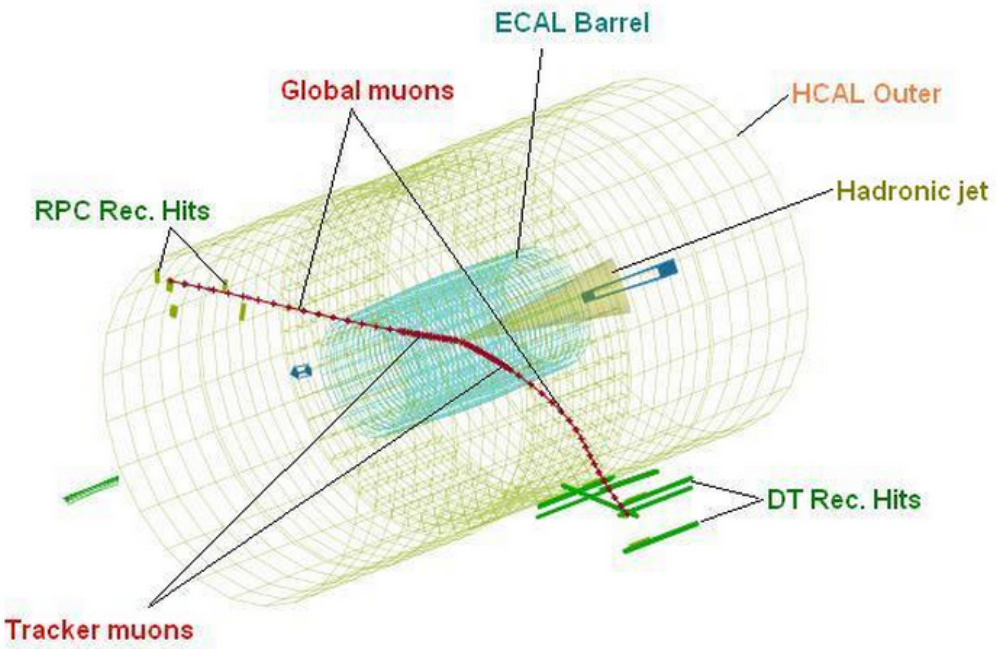






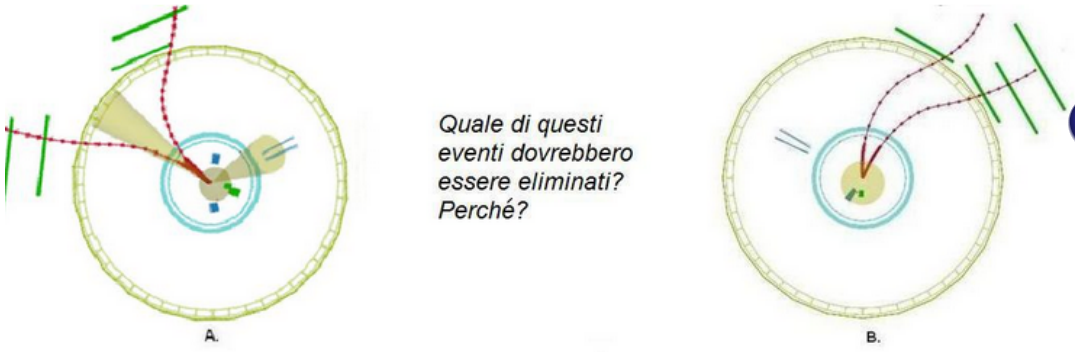
Un sospetto Z

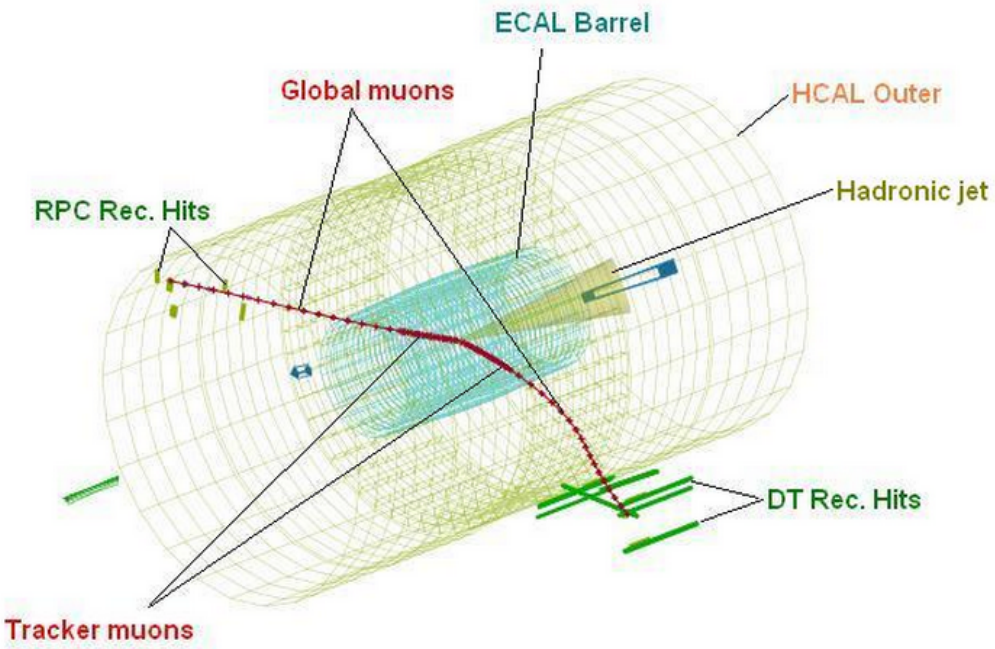




1. I muoni devono avere carica opposta, la carica è positiva o negativa a seconda che la curvatura della traccia sia oraria o antioraria (nel piano xy);
2. devono essere fuori dai jet di particelle (isolamento);

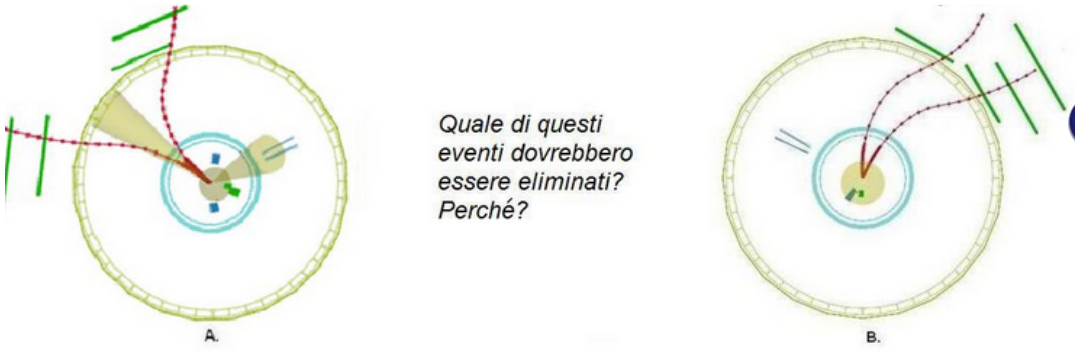
Un sospetto Z

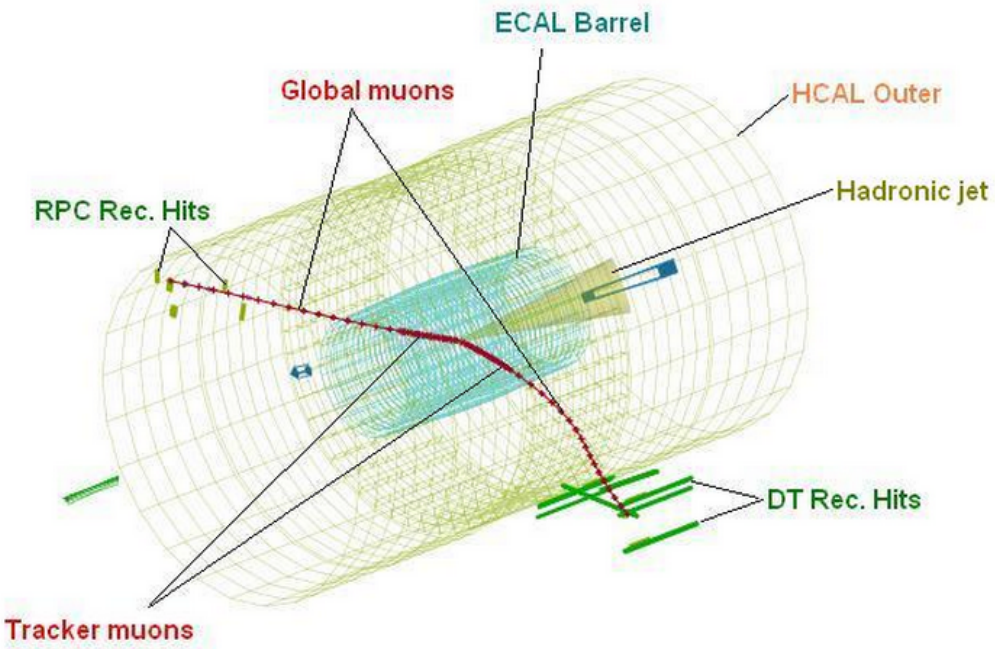




1. I muoni devono avere carica opposta, la carica è positiva o negativa a seconda che la curvatura della traccia sia oraria o antioraria (nel piano xy);
2. devono essere fuori dai jet di particelle (isolamento);
3. ben ricostruiti (tracce anche nelle camere esterne);

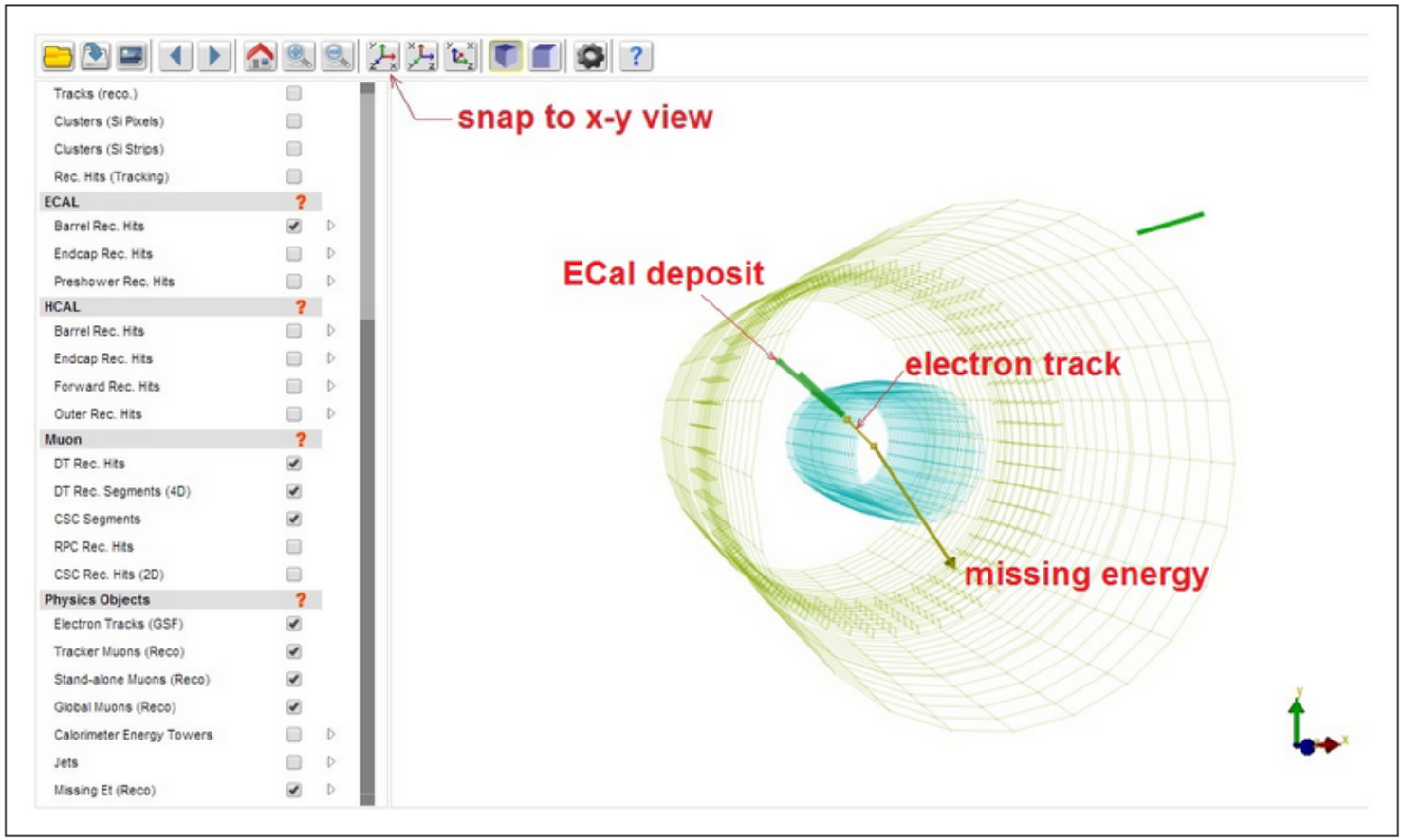
Un sospetto Z



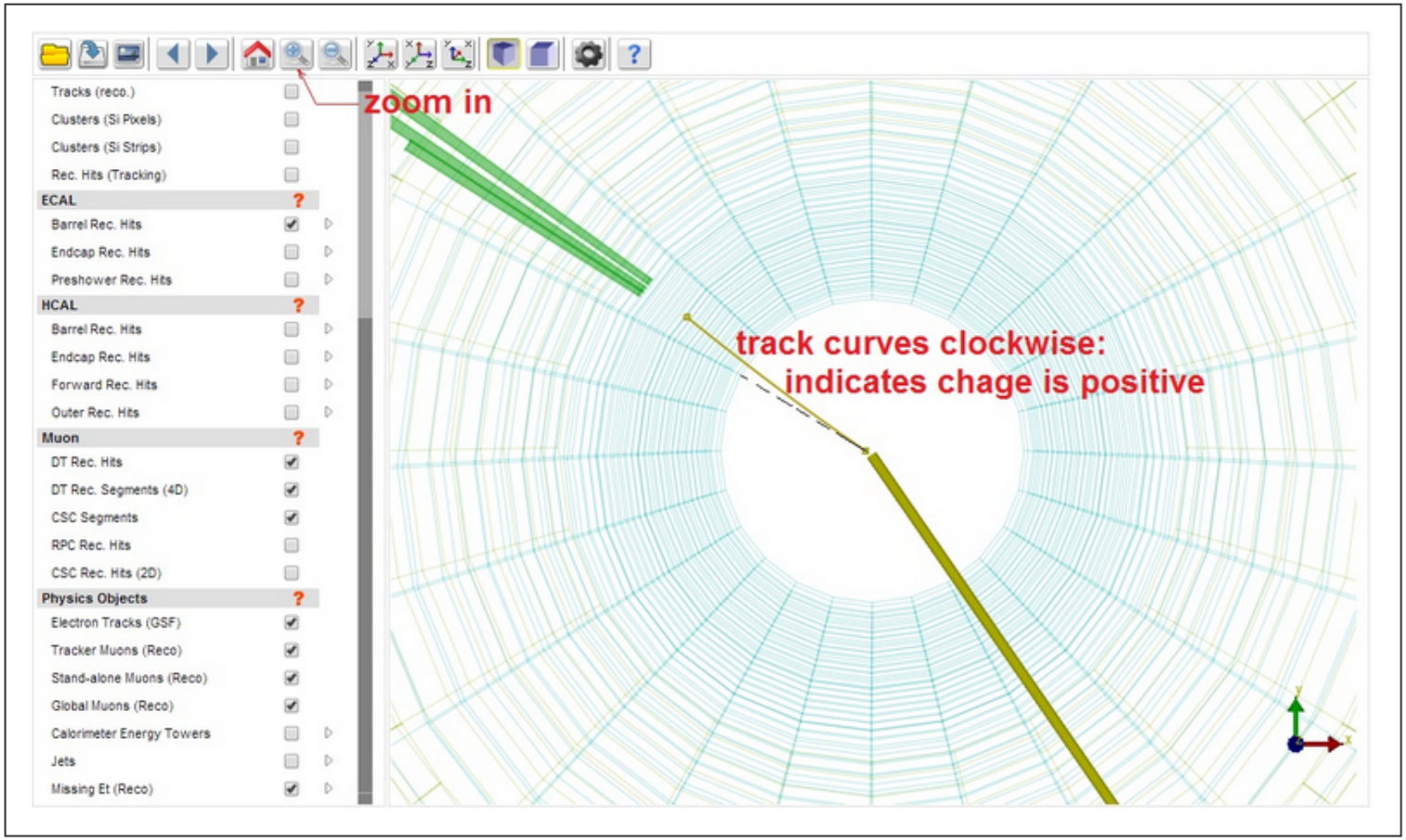


1. I muoni devono avere carica opposta, la carica è positiva o negativa a seconda che la curvatura della traccia sia oraria o antioraria (nel piano xy);
2. devono essere fuori dai jet di particelle (isolamento);
3. ben ricostruiti (tracce anche nelle camere esterne);

candidato W?


snap to x-y view
ECal deposit
electron track
missing energy
Tracks (reco.)
Clusters (Si Pixels)
Clusters (Si Strips)
Rec. Hits (Tracking)
ECAL
Barrel Rec. Hits
Endcap Rec. Hits
Preshower Rec. Hits
HCAL
Barrel Rec. Hits
Endcap Rec. Hits
Forward Rec. Hits
Outer Rec. Hits
Muon
DT Rec. Hits
DT Rec. Segments (4D)
CSC Segments
RPC Rec. Hits
CSC Rec. Hits (2D)
Physics Objects
Electron Tracks (GSF)
Tracker Muons (Reco)
Stand-alone Muons (Reco)
Global Muons (Reco)
Calorimeter Energy Towers
Jets
Missing Et (Reco)

W^+ o W^-?


zoom in
track curves clockwise:
indicates chage is positive
Tracks (reco.)
Clusters (Si Pixels)
Clusters (Si Strips)
Rec. Hits (Tracking)
ECAL
Barrel Rec. Hits
Endcap Rec. Hits
Preshower Rec. Hits
HCAL
Barrel Rec. Hits
Endcap Rec. Hits
Forward Rec. Hits
Outer Rec. Hits
Muon
DT Rec. Hits
DT Rec. Segments (4D)
CSC Segments
RPC Rec. Hits
CSC Rec. Hits (2D)
Physics Objects
Electron Tracks (GSF)
Tracker Muons (Reco)
Stand-alone Muons (Reco)
Global Muons (Reco)
Calorimeter Energy Towers
Jets
Missing Et (Reco)

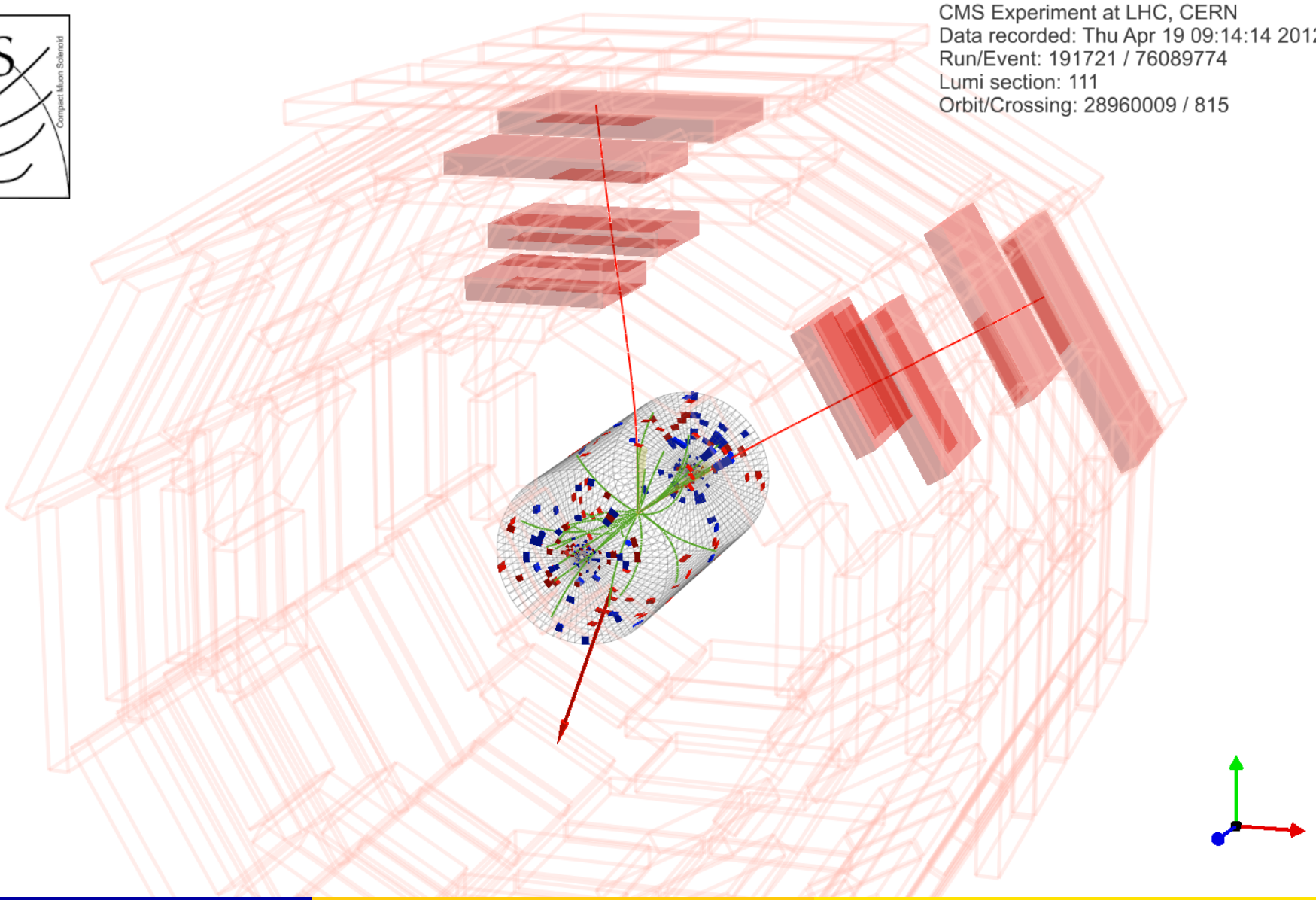
Quella dannata particella ...

Decadimenti dell'Higgs

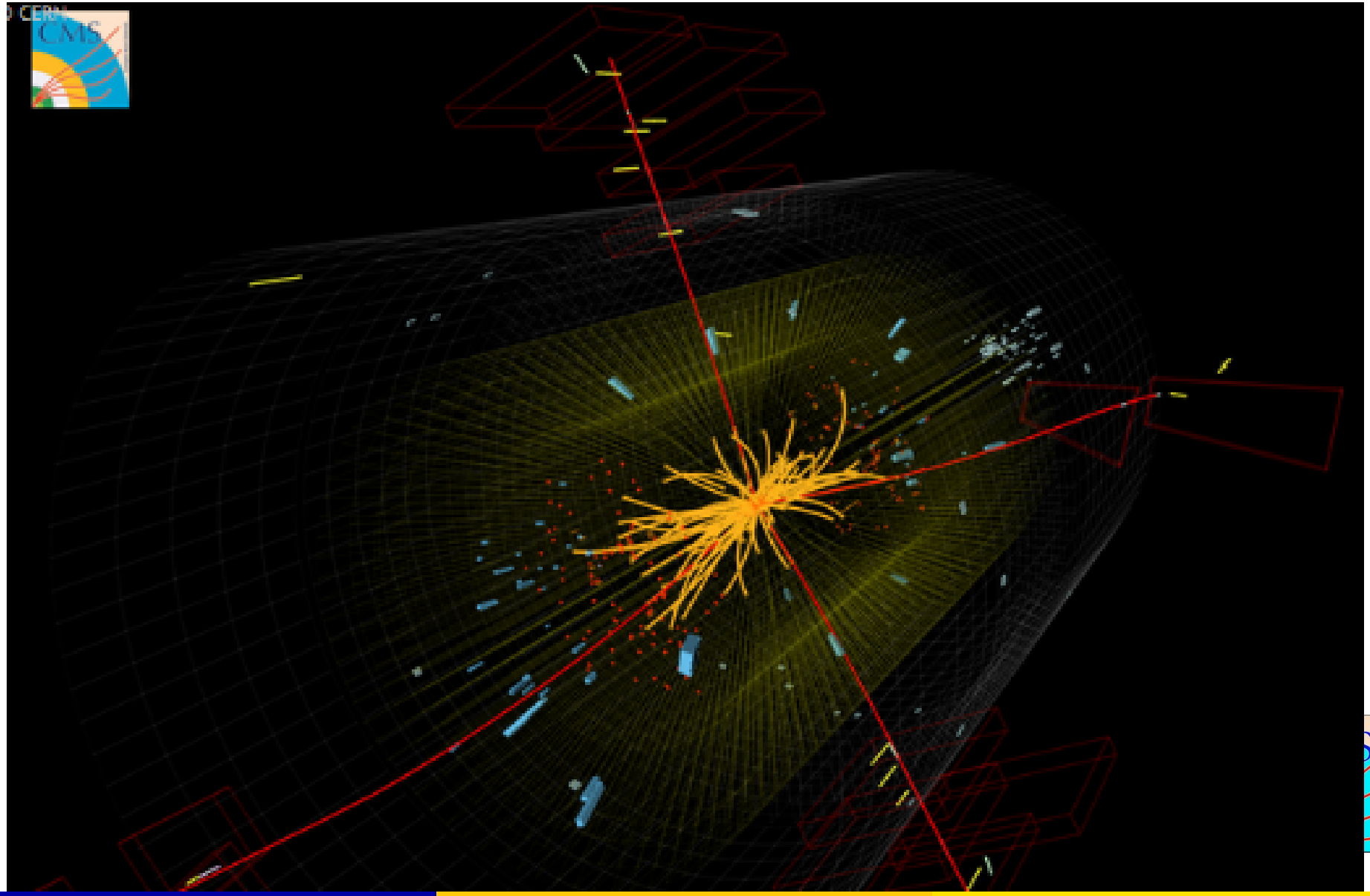
- Il bosone di Higgs è stato osservato sia da ATLAS che da CMS in tre diversi tipi di decadimento;
- cerchiamo gli eventi in cui H decade nei bosoni deboli: $H \to ZZ$ oppure $H \to W^+W^-$.

H^0 DECAY MODES	Fraction (Γ_i/Γ)
WW^*	seen
ZZ^*	seen
$\gamma\gamma$	seen
$b\bar{b}$	possibly seen
$\tau^+\tau^-$	possibly seen

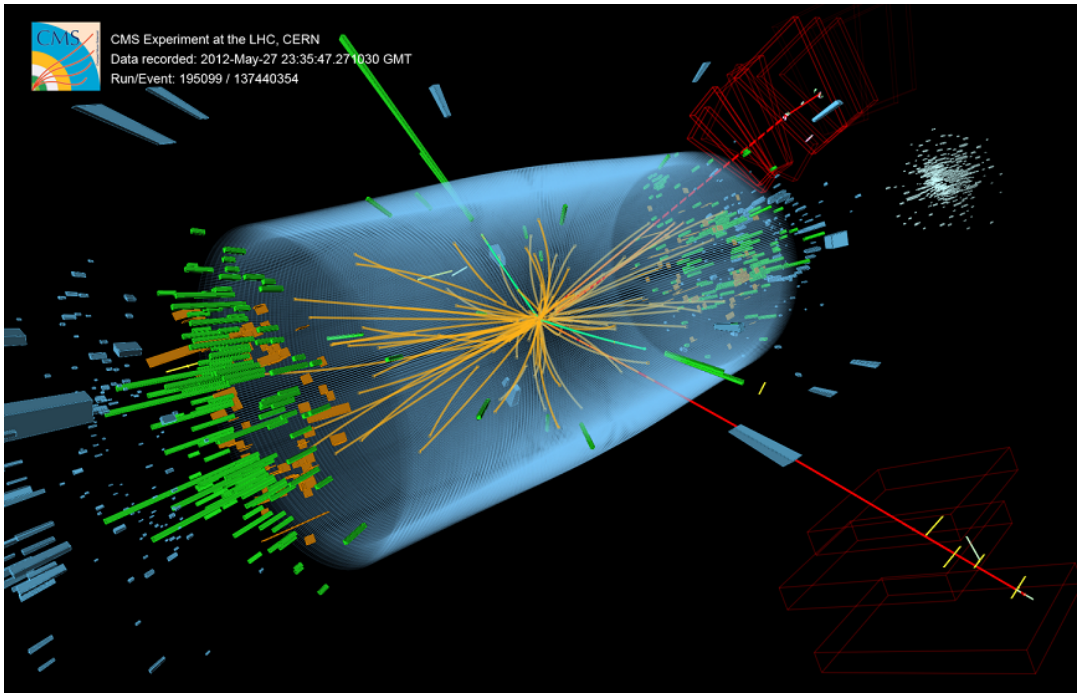
$H \to W^+W^- \to \mu^+\nu + \mu^-\bar{\nu}$

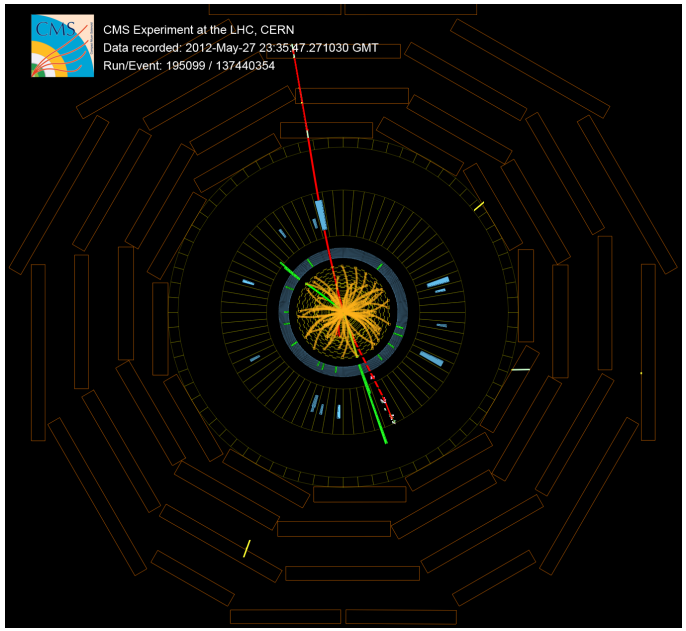


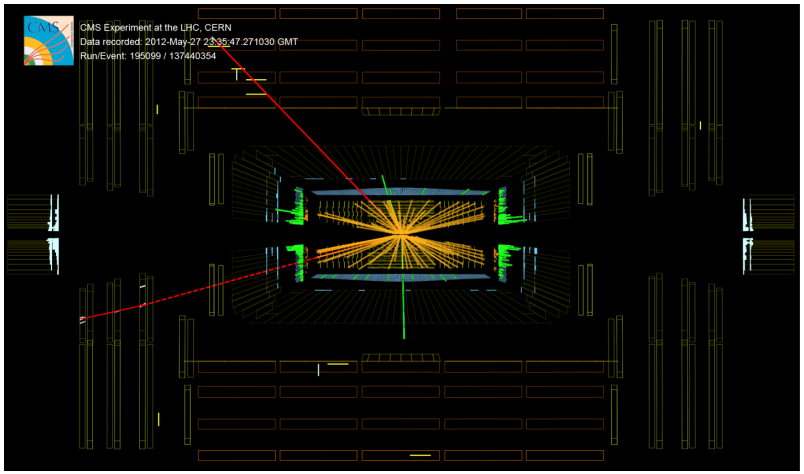
$H \to ZZ \to \mu^+\mu^- + \mu^+\mu^-$



$H \to ZZ \to \mu^+\mu^- + e^+e^-$







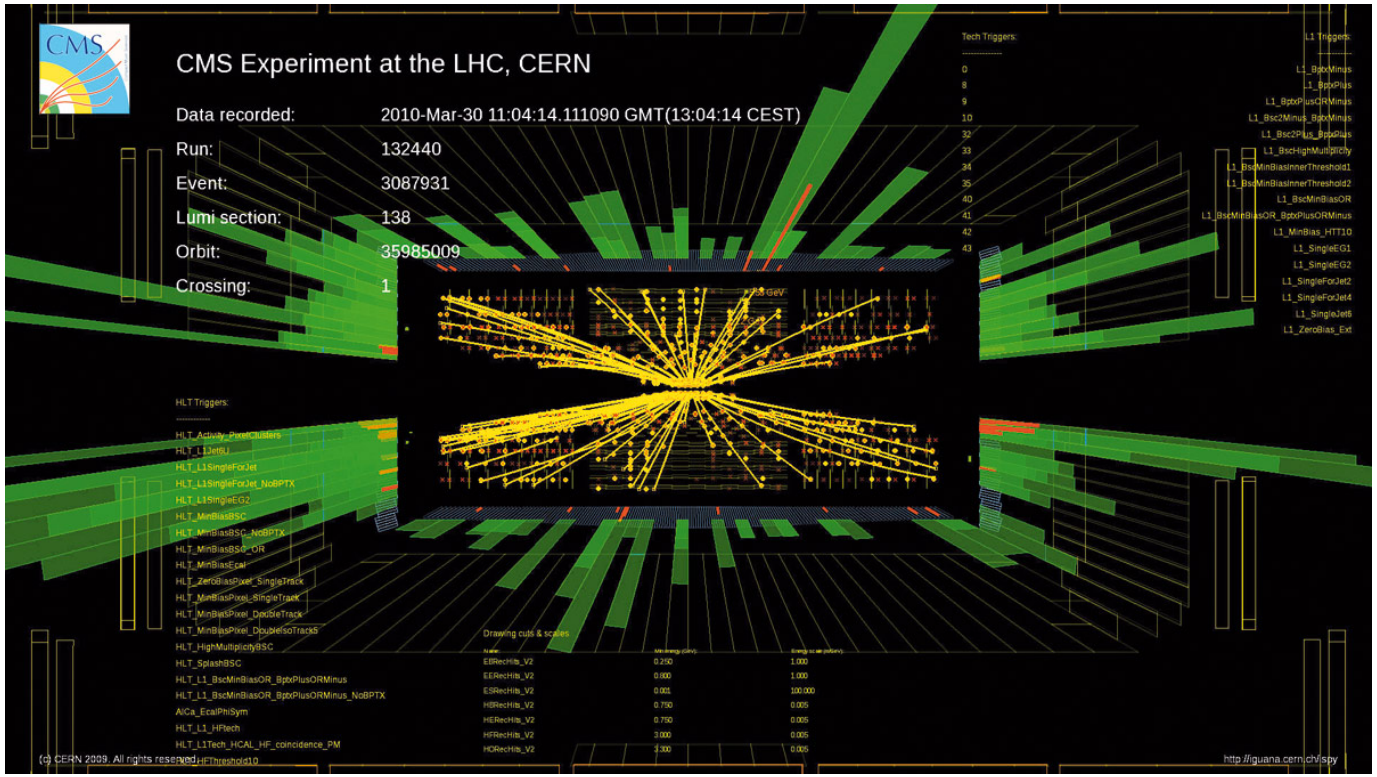
Siamo pronti per l'analisi dei dati!

Dai 100 veri eventi misurati da CMS ciascun gruppo dovrà estrarre alcune informazioni e misure.

1. Identificare i leptoni:
   e^+, e^-, μ^+, $\mu-$;
2. riconoscere dai loro decadimenti leptonici i bosoni:
   W^+, W^-, Z^0 e H;
3. Misurare i rapporti:
   - W/Z
   - W+/W-.
   - e/μ.
4. riempire istogramma di massa per tutte le particelle trovate.
5. Confrontare i risultati attesi con quanto previsto dal Modello Standard.

Link utili

- i-Spy on-line:
  `http://www.i2u2.org/elab/cms/event-display/`
- Foglio Excel:
  `https://quarknet.i2u2.org/content/running-cms-wzh-path-masterclass`
- Perugia Masterclass 2014:
  `http://www.pg.infn.it/Masterclass2014/MasterclassPG.html`
- Esercizi:
  `http://cms.physicsmasterclasses.org/pages/cmsjpsiit.html`


CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2010-Mar-30 11:04:14.111090 GMT(13:04:14 CEST)
Run: 132440
Event: 3087931
Lumi section: 138
Orbit: 35985009
Crossing: 1
Tech Triggers:
L1 Triggers:
HLT Triggers:
Drawing cuts & scales
(c) CERN 2009. All rights reserved.
http://iguana.cern.ch/spy

Buon Lavoro !